

VŠB – Technická Univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a zařízení

Návrh vibrodiagnostického systému výrobních strojů

The Suggestion of the Vibrodiagnostical System for Production
Machines

Student:

Petr Fohler

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing.František Helebrant, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Fohler**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Specializace: 70 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Návrh vibrodiagnostického systému výrobních strojů.**
The Suggestion of the Vibrodiagnostical System for Production Machines.

Zásady pro vypracování:

Technická diagnostika je jedním z klíčových nástrojů zajištění údržby jako takové ve smyslu objektivního zjišťování technického stavu provozovaného objektu. Vibrodiagnostika následně patří k rozhodujícím a nejrozšířenějším metodám. V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky v obecné rovině.
2. Ideově technický návrh řešení včetně metodického postupu implementace.
3. Aplikaci na podmínky vybrané konkrétní a.s.
4. Vyhodnocení přínosů ve srovnání se stávajícím řešením.

Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracování společností Česká zbrojovka. a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost – II. Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava 2004, I. Vydání, 178 s., ISBN 80-248-0650-9
KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, I.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6
KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4
TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s. ISBN 80-901936-1-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5. 2011



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.
- všechny materiály uvedené v bakalářské práci včetně příloh a fotografií byly zveřejněny se souhlasem CZUB

V Ostravě: 19.5. 2011



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Fohler

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Halenkov 377, Halenkov, 75603

Poděkování

Je mou povinností poděkovat všem, kteří se, byť i v malé míře, podíleli ať už radami či komentáři na mé práci. Velký dík patří Ing. Tomáši Tinkovi za důrazné vedení a podnětné nápady při zpracování bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Františku Helebrantovi CSc. za trpělivost a v neposlední řadě svým přátelům a rodině za podporu.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Fohler P. *Návrh vibrodiagnostického systému výrobních strojů : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a zařízení, 2011, 54s, Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing.František Helebrant, CSc.

Tato bakalářská práce se zabývá praktickým návrhem vibrodiagnostického systému do výrobního procesu v akciové společnosti Česká zbrojovka a.s. V první části se seznámíme s teoretickou stránkou měření vibrací a jejich vyhodnocování, dále si rozebereme základní část CNC obráběcích strojů, konkrétně vřeteno. V praktické části práce se věnuji seznámení s dosavadním systémem zavedeným v CZUB, způsobu měření a zaznamenávání dat, trendování a dalšímu zpracování naměřených hodnot. V závěru shrnuji poznatky při měření, porovnávám dosavadní systém s navrženým systémem a vyslovuji návrhy na vylepšení dosavadního vibrodiagnostického systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

- vibrodiagnostický systém, výrobní zařízení, trendování, vibrodiagnostika

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Fohler P. *Design vibrodiagnostic of production machines: a bachelor thesis.* Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Production Machines and Equipment, 2011, 54p. , Thesis Supervisor: doc. Ing.Frantisek Helebrant, PhD.

This thesis deals with the practical design vibrodiagnostic system into the production process in the company and the Czech arms factory The first part, we introduce the theoretical aspect of vibration measurement and evaluation, then they will discuss a fundamental part of CNC machine tools, namely the spindle. The practical part is devoted to familiarization with the current system established in CZUB, measurement and data logging, trending and further processing of measured values. Conclusion summarizes the findings of measurement, comparing the current system with the proposed system and express my suggestions for improvements to the existing vibrodiagnostic system.

KEY WORDS

- vibrodiagnostic system, facilities, trending, vibrodiagnostics

Obsah

1	Úvod.....	- 10 -
2	Vibrodiagnostika.....	- 11 -
2.1	Základní sledované veličiny kmitání	- 11 -
2.2	Snímače vibrací.....	- 12 -
2.3	Základní metody vibrodiagnostiky	- 16 -
2.3.1	Analýza signálu v časové oblasti	- 16 -
2.3.2	Analýza signálu ve frekvenční oblasti	- 16 -
2.3.3	Analýza FFT (Fast Fourier Transformation)	- 16 -
2.3.4	Kepstrální analýza.....	- 17 -
2.3.5	Trendování vibrací.....	- 17 -
2.4	Základní metody vibrodiagnostiky ložisek.....	- 18 -
3	Vřetena CNC obráběcích strojů.....	- 21 -
4	Návrh vibrodiagnostického systému pro CZUB.....	- 23 -
4.1	Profil společnosti Česká zbrojovka a.s Uherský Brod.....	- 23 -
4.2	Organizační schéma podniku.....	- 25 -
4.3	Vibrodiagnostický systém v CZUB v minulosti a současnosti.....	- 25 -
4.4	Diagnostikované zařízení.....	- 26 -
4.5	Charakteristika zařízení:	- 26 -
4.6	Diagnostikovatelné části zařízení	- 29 -
4.7	Časový plán měření a způsob ukládání naměřených hodnot.....	- 29 -
4.8	Zařízení použita pro vibrodiagnostiku	- 31 -
4.9	Vibrační diagnostika vřetenových ložisek.....	- 34 -
4.10	Vyhodnocování výsledků měření používané v CZUB	- 36 -
4.11	Naměřená data	- 37 -
	STAMA MC 526/M ozn. 1/3	- 37 -
	STAMA MC 526/M ozn. 2/3	- 39 -
	STAMA MC 526/M ozn. 2/5	- 41 -
	STAMA MC 526/M ozn. 2/7	- 43 -
	CHIRON FZ 12 KS ozn. 1	- 45 -
	CHIRON FZ 12 KS ozn. 2.....	- 47 -
5	Vyhodnocení dosavadního systému, porovnání a doporučení.....	- 49 -
6	Závěr	- 51 -
7	Seznam použité literatury	- 52 -
8	Seznam příloh	- 54 -

Seznam použitých zkratk

a ef	Efektivní hodnota zrychlení	[mm/s²]
b	Tlumič prvek	
BPFI	Frekvence rázů vnějšího kroužku ložiska	[Hz]
BPFO	Frekvence rázů vnitřního kroužku ložiska	[Hz]
BSF	Frekvence rázů valivých segmentů ložiska	[Hz]
CNC	Computer Numeric Controll	
CZUB	Česká zbrojovka Uherský Brod	
Cf	Crest faktor	
f	Frekvence	[Hz]
F_{bud}	Budící síla	[N]
FFT	Rychlá Fourierova transformace	
FTF	Frekvence rázů klece ložiska	[Hz]
FTF-i	Speed of Rolling Element set for Rotating Inner Ring	
FTF-o	Speed of Rolling Element set for Rotating Outer Ring	
k	Pružný prvek	
n	Počet valivých elementů ložiska v jedné řadě	
PEAK	Špičková hodnota vibrací	
RMS	Efektivní hodnota vibrací	
SEE	Spectral Emited Energy	
s ef	efektivní hodnota výchylky	[μm]
t	Čas	
T	Doba jednoho kmitu (perioda)	
v	Amplituda rychlosti	
v ef	efektivní hodnota rychlosti	[mm/s]
xef (RMS)	Efektivní hodnota	
vs (Average)	Střední hodnota	
xT (Peak-Peak)	Maximální rozkmit	
xV (Peak)	Výkmit, špička	

1 Úvod

V dnešní době moderních obráběcích zařízení je stále více přikládána důležitost správné a hlavně účinné údržby těchto zařízení. Vlivem toho se společnosti začínají zajímat nejen o ekonomickou stránku údržby, ale také o její účinnost, přestože mnohdy správná údržba dokáže snížit celkové náklady na provoz a údržbu zařízení.

Vibrodiagnostika bezesporu patří mezi stěžejní disciplíny moderní technické diagnostiky. Díky sledování stavu vibrací dokážeme pomocí sofistikovaných přístrojů rozpoznat jak probíhající poruchu, tak také můžeme odhalit poruchu již v jejím zárodku a díky tomu ji buď eliminovat, nebo zastavit její rozšíření.

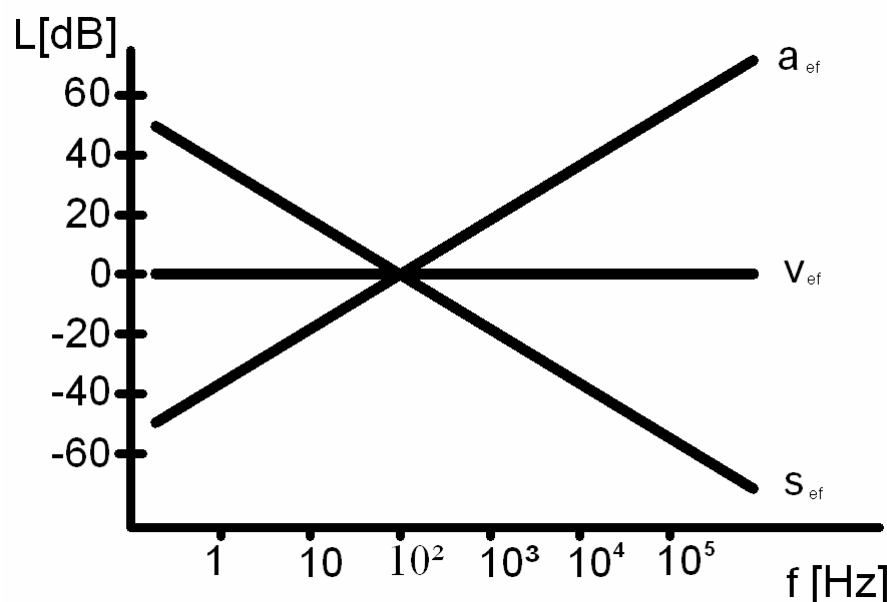
Při zpracování jsem spolupracoval se společností Česká zbrojovka a.s Uherský Brod (dále jen „CZUB“) která mi po dohodě s pracovníky údržby umožnila sledovat stav svých výrobních zařízení, především CNC frézek. V své práci ukazuji praktickou stránku navrhování měření vibrací u strojů tohoto typu ve výrobě, kde ještě není plně rozvinutý systém prediktivní údržby. Závěry, návrhy a doporučení jsou pojaty objektivně, aby je bylo možno využít i u dalších strojních zařízení tohoto typu v CZUB.

2 Vibrodiagnostika

Patří právem mezi hlavní součásti technické diagnostiky, neboť pomocí sledování vibrací dokážeme s vysokou přesností získat obraz o stavu zařízení a díky tomu efektivněji navrhnout další opatření nutná pro další spolehlivý chod zařízení. Vibrace jsou úzce propojeny s dynamickým namáháním stroje a každá část stroje je pomocí nich diagnostikovatelná, ať už se jedná o ložiska, převodovky, spojky, nebo v neposlední řadě samotná základna, na které celé zařízení stojí. [5]

2.1 Základní sledované veličiny kmitání

Mezi hlavní veličiny, které sledujeme u vibrací, patří výchylka, rychlost a zrychlení. Z vyhodnocení výchylky zjistíme možnosti různých vůlí v mechanismech, protože tyto jsou měřitelné pouze v nízkofrekvenční oblasti kmitů. Nejlepší obraz o přenosu škodlivého kmitání z hlediska přenosu energie nám podá efektivní hodnota rychlosti. V oblasti vysokofrekvenčních pásem se vyhodnocuje efektivní hodnota zrychlení. [1] Graficky je toto rozdělení zobrazeno na obr. 1:



Obr. 1 Frekvenční závislosti základních určujících veličin [1]

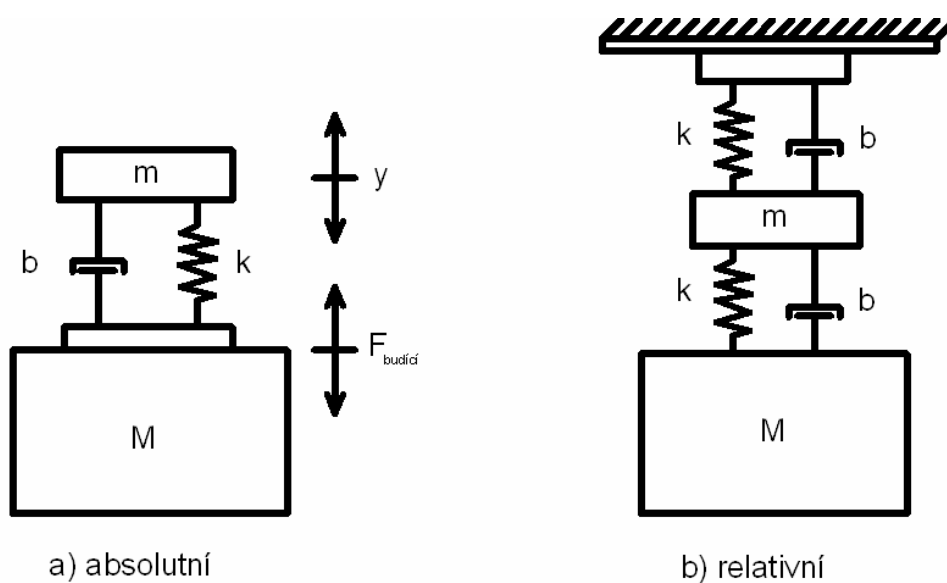
2.2 Snímače vibrací

Snímače vibrací můžeme v základě rozdělit do dvou skupin, podle bodu, ke kterému jsou vztaženy na:

- Absolutní (obr. 2 a)
- Relativní (obr. 2 b)

Absolutní vibrace jsou vztaženy k zemskému magnetickému poli a snímače absolutních vibrací se používají v případech kdy nelze snímač připevnit k pevnému bodu na zařízení. Základním principem snímače absolutních vibrací je pohyb proti vlastní seismické soustavě.

Relativní snímače pracují na principu snímání vibrací vůči zvolenému bodu v prostoru. Používají se v případě měření vibrací jedné části vůči druhé. [6]



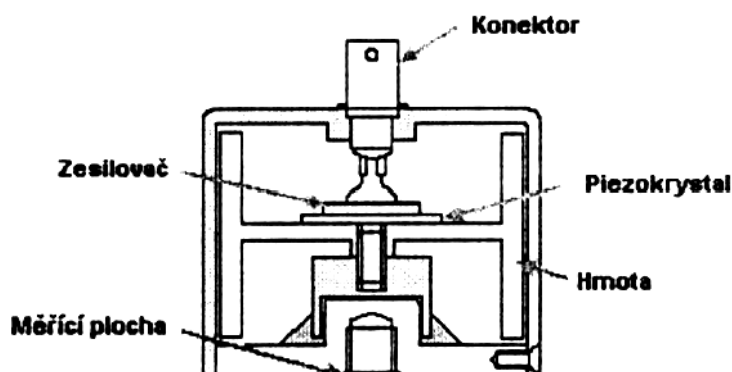
Obr.2 Schéma snímače vibrací a) absolutní, b) relativní [6]

Dále můžeme snímače rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní nepotřebují externí zdroj energie. Pasivní vyžadují napájení elektrickou energií. Snímače můžeme dělit i podle typu snímané veličiny na akcelerometry (zrychlení), velometry (rychlost), a snímače výchylky.

Akcelerometry

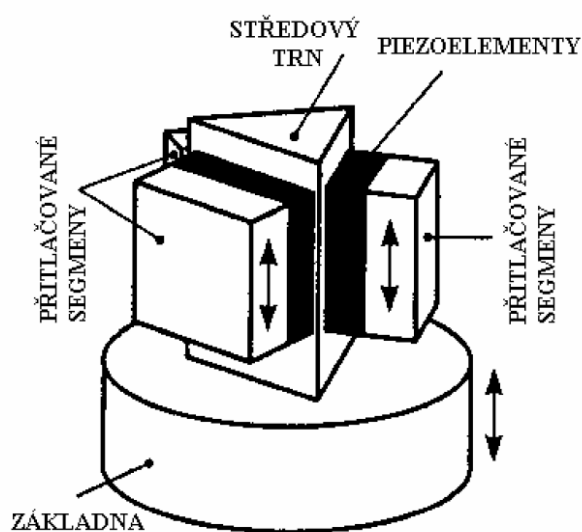
Patří mezi nejrozšířenější snímače, hlavní výhodou je možnost nastavení libovolné výstupní veličiny (zrychlení, rychlost, výchylka). Řadíme je do dvou skupin podle způsobu zatížení piezoelektrického členu seismickou hmotou na :

- snímače s tlakovým zatížením - seismická hmota stlačuje piezoelektrický člen v ose snímače viz obr. 3 , případně je piezoelektrický člen umístěn mezi dvěmi hmotami.



Obr.3 Akcelerometr s tlakovým zatížením [5]

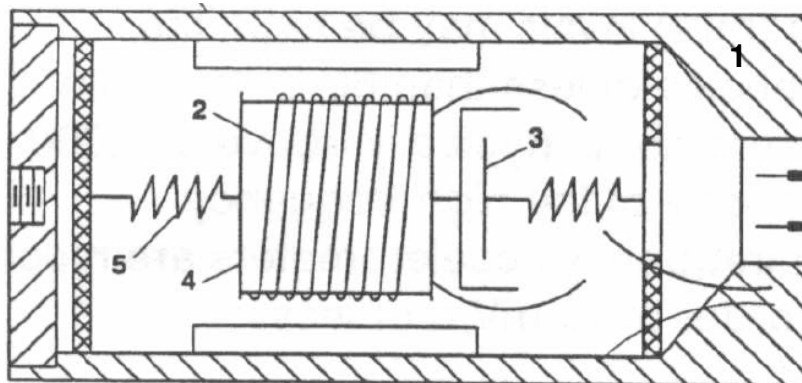
- snímače se smykovým zatížením - v tomto případě jsou piezoelektrické krystaly namáhány na střih viz obr. 4.



Obr.4 Akcelerometr se střihovým namáháním [1]

Velometry

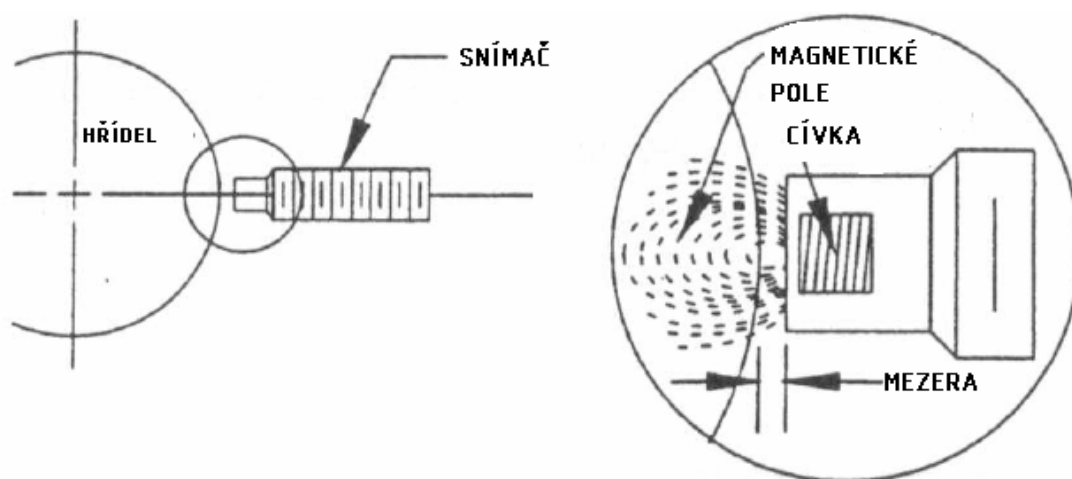
Snímač rychlosti vibrací (obr. 5), z jehož výstupu po integraci dostaneme výchylku vibrací. Princip snímače je většinou založen na průchodu cívky mezi póly permanentního magnetu, čímž se generuje napětí, proto se tyto snímače nazývají také generátorové.



Obr.5 Snímač rychlosti (1-obal s magnety, 2-cívka, 3-tlumič, 4-jádro, 5-pružina) [8]

Snímače výchylky

Nejčastěji bezdotykové sondy pracující na principu snímání vířivých proudů. Uvnitř snímače se nachází cívka (obr. 5), kterou prochází vysokofrekvenční střídavý proud. Ten generuje vysokofrekvenční magnetické pole. Ve vodivých materiálech, které jsou vloženy do tohoto pole se generují střídavé proudy, které odebírají energii z vysokofrekvenčního magnetického pole. Přímým výstupem je relativní výchylka mezi rotujícím a nerotujícím členem zařízení. Snímače se často montují na stroje jako trvalé. [1] [5]

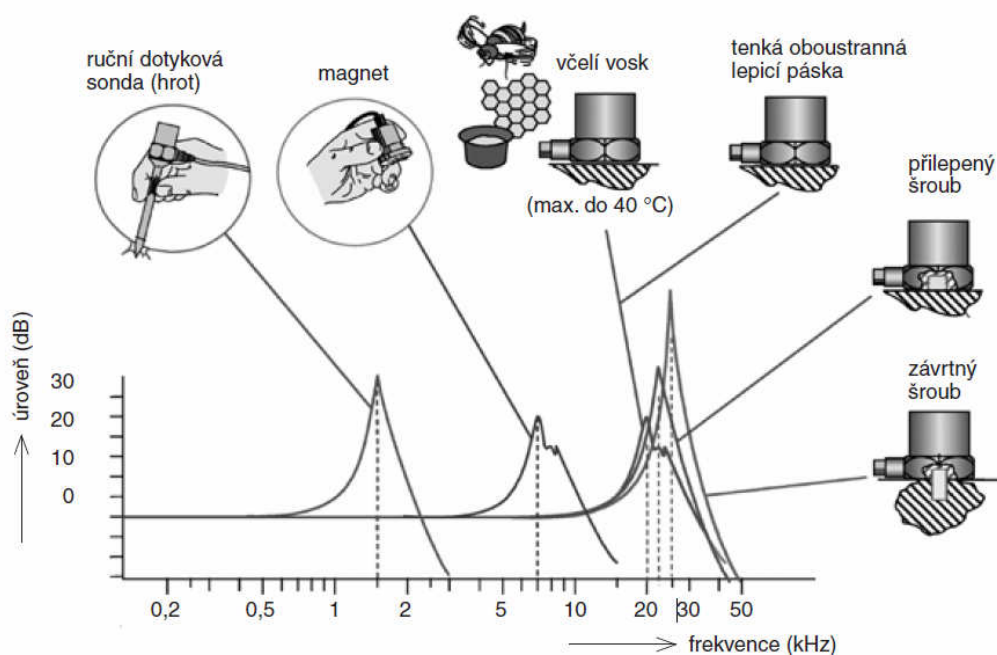


Obr. 6 Snímač výchylky [8]

Velký vliv na přesnost snímače má způsob uchycení k měřenému místu, volba správného upevnění se řídí dle ČSN ISO 5348. V tabulce 1 jsou rozepsány základní způsoby uchycení a jejich vliv na výkonnost snímače. Na obr. 7 vidíme vliv uchycení snímače na frekvenční rozsah snímače.

Metoda připevnění	Vliv na výkonnost snímače (např. snímače s rezonancí 30 kHz)
Pevný šroubový spoj	Žádné snížení rezonanční frekvence akcelermotoru v důsledku připevnění
Izolovaný šroubový spoj	Pokud je pro zabránění vzniku zemních smyček a jiných vlivů použit tuhý nevodivý materiál, jako je podložka ze slidy, montážní rezonanční frekvence je mírně snižena asi na 28 kHz.
Přilepení tuhým lepidlem	Rezonance je snižena asi na 28 kHz
Přilepení měkkým epoxidem	Rezonance je snižena asi na 8 kHz
Připevnění permanentním magnetem	Rezonance je snižena asi na 7 kHz
Ruční sonda se snímačem	Rezonance je snižena asi na 2 kHz, ale tato metoda není doporučena pro měření nad 1 kHz.

Tab. 1 Způsoby připevnění snímače a jejich vliv na výkonnost snímače [5]



Obr. 7 Vliv uchycení na frekvenční rozsah snímače [8]

2.3 Základní metody vibrodiagnostiky

Ve vibrodiagnostice se používá velké množství způsobů zpracování základního signálu. Nedá se říct, že existuje jedna univerzální metoda, proto se doporučuje metody kombinovat a tím dostat ucelený obraz o případné poruše zařízení. Dále si vyjmenujeme pouze ty nejzákladnější metody.

2.3.1 Analýza signálu v časové oblasti

U této metody se vyhodnocuje hodnota celkového kmitání stroje a časových průběhů signálu. Celkové kmitání je měřítkem celkové energie, která souvisí se všemi frekvencemi kmitání v daném měřicím bodě. Hodnota se dále porovnává s dříve naměřenými hodnotami, kdy stroj pracoval bezporuchově a dále se srovnává s nastavenými poplachovými úrovněmi. Pro vyhodnocení efektivní rychlosti kmitání lze použít například normu ISO 2372, která určuje mezní hodnoty kmitání [1]. Při vyhodnocování časových průběhů se vyhodnocují tři základní veličiny - amplituda určující veličiny kmitání (určuje nebezpečnost kmitání), mohutnost kmitání (charakterizuje energetické přeměny) a činitel výkmitu (= crest factor - poměr výkmitu k efektivní hodnotě). [1]

2.3.2 Analýza signálu ve frekvenční oblasti

Při správném použití frekvenční analýza odstraňuje nevýhody analýzy časového signálu. Díky ní můžeme lokalizovat poruchy na jednotlivých částech zařízení. Analýzou frekvenční oblast dostaneme tzv. frekvenční spektrum, ve kterém jsou vyneseny velikosti vibrací na jednotlivých frekvencích. V případě úplné frekvenční analýzy jsou na výstupu jak amplitudové tak fázové spektra. Fázové spektra se používají pro určení typu nevývahy a pro samotné vyvažování.

2.3.3 Analýza FFT (Fast Fourier Transformation)

FFT spektrum vzniká rozkladem časového signálu na jednotlivé amplitudy s vlastní frekvencí. Jedná se o rychlou a spolehlivou metodu. Naměřená spektra se mohou dále využívat pro trendování a následnému určení schopnosti stroje pracovat v bezporuchovém

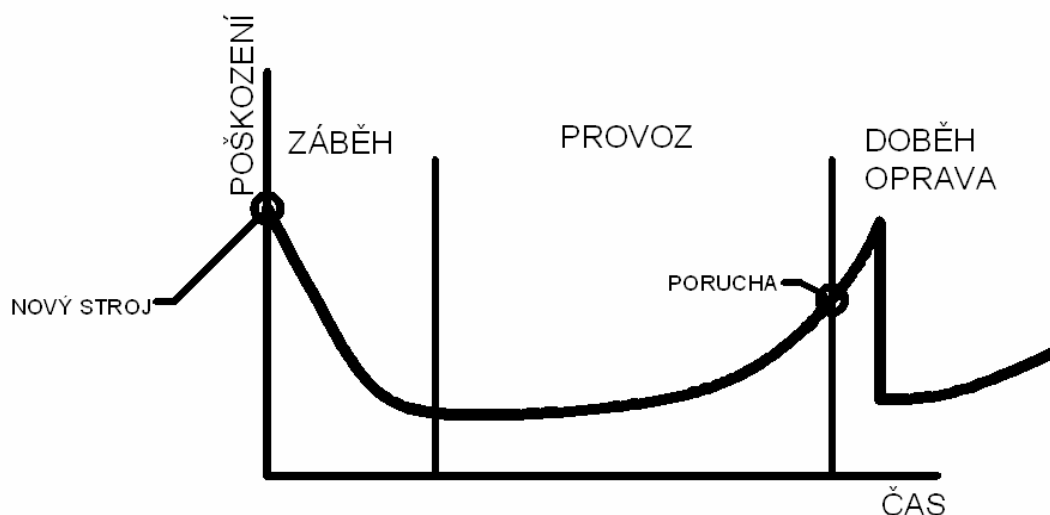
režimu. Podstatou FFT je volba zvláštní délky záznamu díky čemuž dochází ke značnému urychlení výpočtu.

2.3.4 Kepstrální analýza

Kepstrální analýza zpracovává frekvenční spektrum a vyhledává v něm periodické děje. Jedná se o analýzu frekvenčního spektra a zobrazuje modulace postranních pásem v okolí nosných pásem. Kepstrum tedy lze definovat jako zpětnou Fourierovu transformaci logaritmu Fourierova frekvenčního spektra. Používá se především u vibrodiagnostiky převodovek, konkrétně ozubení. dají se pomocí ní zjistit opotřebení boku zubu, případně celé vylomené zuby.

2.3.5 Trendování vibrací

Většina poruch strojů se projevuje pozvolným zhoršováním stavu, toto lze zachytit a zobrazit v časovém grafu. V případě vibrací se do grafu zanáší jedna z nejčastěji měřených efektivních hodnot: rychlosti, zrychlení, výchylky. Díky trendování můžeme sledovat stav stroje a s určitou přesností i určit dobu do poruchy či nutné opravy zařízení. Křivka, která se vytvoří spojením bodů za celý provozní život zařízení, se nazývá vanová křivka (viz obr. 8)



Obr. 8 Vanová křivka (autor)

2.4 Základní metody vibrodiagnostiky ložisek

Jelikož ložiska jsou důležitou částí strojů a jejich poškození by mohlo způsobit fatální následky pro celé zařízení, věnuje se jejich diagnostice mnoho speciálních metod pro zjištění jejich stavu vycházejících z vibrodiagnostiky. Zde si vyjmenujeme jen ty nejpoužívanější, neboť společnosti zabývající se touto tematikou neustále pracují na vývoji nových a lepších metod.

- *Metoda SPM* - (shock pulse metod) Snímání krátkodobých tlakových vln vyvolávaných mechanickými rázy, které vznikají vlivem drsnosti ložiskových drah a valivých těles. Tzv. rázové impulsy snímáme v rozmezí 30-40 kHz. Snímáme tzv. prahovou úroveň (dBc) a špičkovou úroveň (dBm), zakreslujeme do grafu a při vstupu do červeného pole (35 dB) je ložisko vadné. [1]
- *Metoda BCU* - (Bearing Condition Unit) Nepřímé měření rázových impulsů pomocí obsahu energie akustických kmitů šířených v pevném materiálu projevujících se v kmitočtové oblasti 20-40 kHz. Vyhodnocují se špičkové hodnoty měřeného signálu. [1]
- *Metoda RBP* - (Related Bearing Produkt) - Při této metodě se zjišťují efektivní hodnoty zrychlení v rozsahu 2 – 16 kHz. [1]
- *Obálková metoda* - (ENVELOPE) - Speciální metoda u které se v měří rázové impulsy, které vznikají při porušení dráhy, po které se odvalují kuličky nebo válečky. Vstupní signál je filtrován, odstraněny šумы a vibrace (obr.9) způsobené zbytkem zařízení a zůstanou pouze frekvence vibrace emitované ložisky. Ve frekvenční spektru po vyfiltrování obálkovou metodou zůstanou pouze poruchové frekvence ložiska a jeho jednotlivých částí (vnější kroužek, valivé elementy, vnitřní kroužek, klec) Poruchové frekvence se vypočítají následovně ze vzorců (1-4) :

BPFI -Poškození vnějšího kroužku:

$$BPFI = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi \right) \quad (1)$$

BPFO - Poškození vnitřního kroužku:

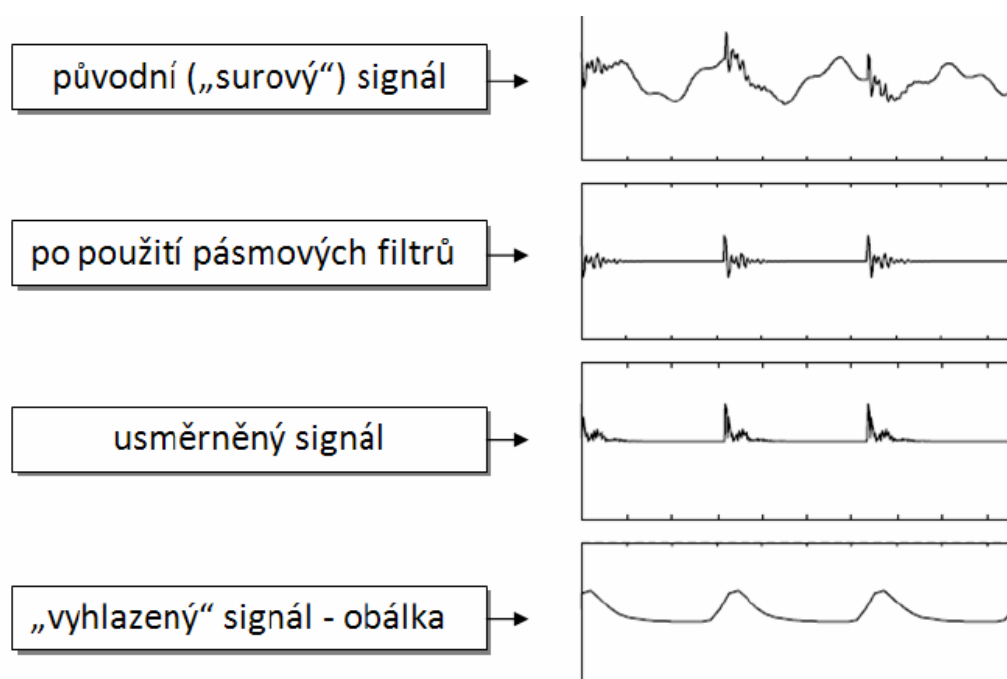
$$BPFO = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi \right) \quad (2)$$

BSF - Poškození valivých elementů:

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cdot \cos^2 \phi \right] \quad (3)$$

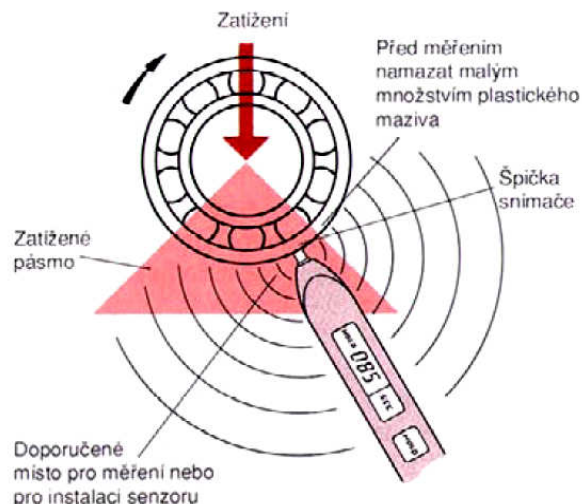
FTF - Poškození klece

$$BPFO = \frac{1}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi \right) \quad (4)$$



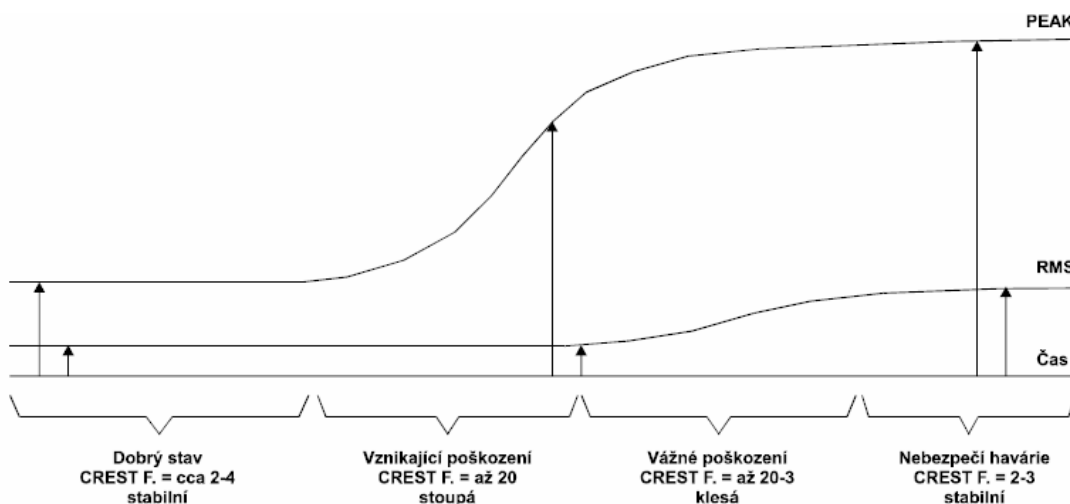
Obr. 9 Modulace signálu při použití obáلكové metody [8]

- *Metoda SEE* - (Spectral Emitted Energy) - Jedná se o speciální metodu vyvinutou společností SKF. Kombinuje obáلكovou metodu s vysokofrekvenční akustikou. metoda spočívá ve snímání akustických emisí, které vznikají od ložiska a následného filtrování přes obáلكu. Při měření je nutné umístit snímač do oblasti zatížení ložiska viz obr. 10. [1]

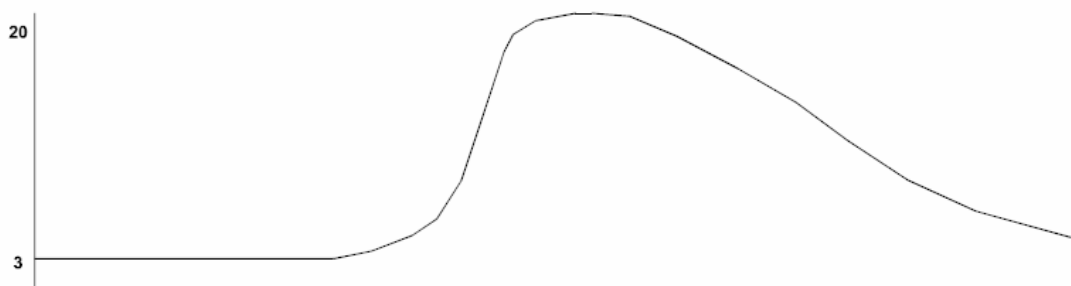


Obr. 10 Umístění SEE snímače [11]

- *Crest faktor* - Princip spočívá ve výpočtu poměru naměřené efektivní a špičkové hodnoty vibrací PEAK/RMS. Tato metoda je zcela nezávislá na typu ložiska i na otáčkách hřídele protože se vyhodnocuje poměr dvou hodnot. Crest faktor je velmi citlivým parametrem již při vzniku mechanického poškození ložiska, které rozpozná ve velmi ranném stádiu. Je také vhodným indikátorem poruch mazání. U této metody je nutné využít trendování a porovnávání s předchozími naměřenými hodnotami. Princip je graficky znázorněn na obr. 11 a obr. 12. [12]



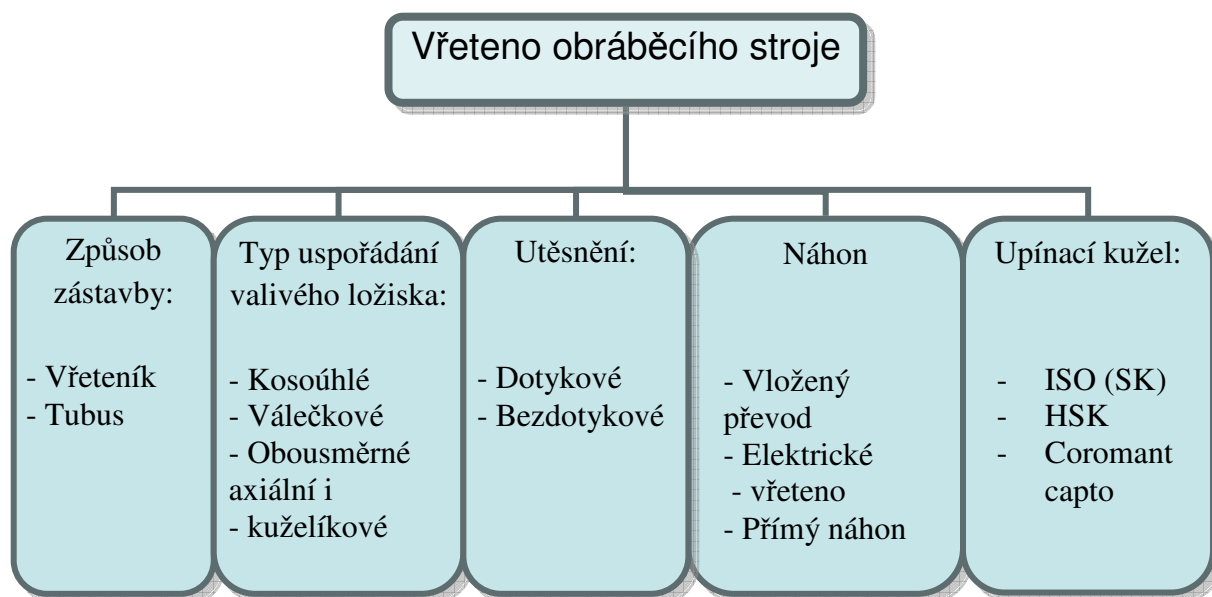
Obr. 11 Graf znázorňující poměr PEAK/RMS [12]



Obr. 12 Časový průběh Crest faktoru [12]

3 Vřetena CNC obráběcích strojů

Úlohou vřetena je zaručit nástroji přesný otáčivý pohyb [4] tj. takový, při němž se dráhy jednotlivých bodů nástroje liší od kružnice jen v přípustných mezích. Skladbu vřetena ukazuje obr. 13.



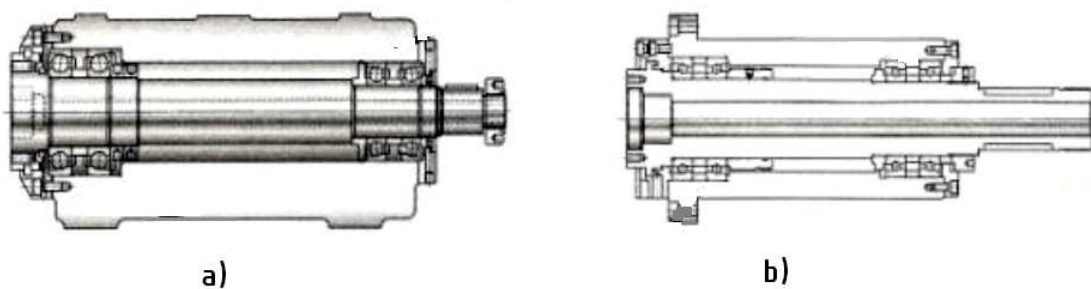
Obr.13 Skladba vřetene CNC stroje [4]

Vřeteno je u CNC obráběcích strojů ukládáno z 99% do valivých ložisek, zbytek se ukládá do rotačních hydrostatických ložisek. Dále se budu věnovat pouze uložení s valivými ložisky. Vřeteno je nejčastěji uloženo ve dvou radiálních a jednom nebo dvou axiálních ložiscích. Přední konec, který vyčnívá ze skříně vřeteníku, slouží pro upnutí obrobku, nebo nástroje. Ložisko nacházející se blíže přednímu konci vřetene se nazývá přední nebo hlavní, má velký vliv na přesnost otáčivého pohybu vřetene.

Pro zajištění přesnosti a spolehlivosti při použití vřetene, je nutné dodržet při návrhu konstrukce tyto základní požadavky:

- *Požadavek na přesnost chodu* - přesnost chodu se určuje pomocí velikosti radiálního a axiálního házení, kontroluje se na přední ploše vřetena, která má největší vliv na přesnost otáčení nástroje.
- *Požadavek na dokonalé vedení* - mění li se zatížení na vřeteno, to nesmí měnit svou polohu.
- *Možnost vymezení vzniklých vůlí*
- *Malé ztráty v uložení vřetene* - tepelná dilatace, účinnost, změna funkce a polohy
- *Tuhost vřetene* - má největší vliv na kvalitu obrobku, nejčastěji se udává v přední části vřetene, neboť deformace v tomto místě má přímý vliv na jakost.

Nejběžnější uspořádání vřetene vidíme na obr. 14



Obr. 14 Uložení vřetene a) do skříňového tvaru b) do tubusu

4 Návrh vibrodiagnostického systému pro CZUB

V této části se věnuji dosavadnímu systému vibrodiagnostiky v CZUB, způsobu měření dat a dalšímu zpracování naměřených hodnot vibrací na vřetenech cnc frézek.

4.1 Profil společnosti Česká zbrojovka a.s Uherský Brod

Česká zbrojovka (obr. 15) se zabývá výrobou ručních palných zbraní pro vojenské využití již od roku 1936, postupem času se sortiment výroby rozšiřuje i na soukromý sektor a začínají se vyrábět zbraně i pro širokou veřejnost od loveckých dlouhých pušek přes ruční pistole až po vzduchové zbraně pro dorost. Samotná akciová společnost, jak ji známe dnes, byla založena roku 1992.



Obr. 15 Logo společnosti CZUB [10]

Díky vysoké kvalitě svých výrobků je nyní Česká zbrojovka Uherský Brod známá po celém světě a patří mezi hlavní výrobce palných zbraní. V CZUB je také začleněna sekce vývoje a výzkumu, čímž se stává zbrojovka plně schopná konkurovat zahraničním společnostem. Každoročně se investují vysoké finanční objemy do modernizace a na nákup špičkových technologií, především pak CNC obráběcích center a výpočetní techniky.

V dnešní době se výroba společnosti soustředí hlavně na tři hlavní odvětví:

- zbraně pro ozbrojené složky armády a policie, jakož i pro sportovní a lovecké účely
- výrobky, díly a sestavy pro letecký a automobilový průmysl
- speciální nářadí pro strojírenskou výrobu

Mezi nejznámější výrobky CZUB patří útočné vojenské pušky vzor 58 (obr. 16) někdy chybně označované za samopal. Tyto pušky byly zařazeny do výzbroje ČSLA v roce 1958 a od té doby slouží s menšími úpravami dodnes. Vyráběly se odlišné verze pro různé využití a podmínky, např. pěchotní, výsadkový, lehký kulomet s delší hlavní a taktickou dvounožkou.



Obr. 16 SA vz. 58 - verze s pevnou pažbou [10]

Po vítězném výběrovém řízení se jejím nástupcem stala útočná puška s označením CZ805 (obr. 17). Ta se nyní vyrábí v CZUB na nejnovějších numericky řízených obráběcích strojích. Jedná se o pušku modulárního (stavebnicového) systému, jednoduchou výměnou čtyř částí můžeme měnit ráži. Vzhledem k požadavkům armády se bude vyrábět ve dvou provedeních:

- dlouhá útočná puška (Bren A1)
- karabina (Bren A2)



Obr. 17 CZ 805 BREN A1 [10]

Mezi další klíčové zakázky podniku patří také vybavení Policie ČR krátkými palnými zbraněmi. Jedná se především o pistoli CZ 75 D v policejní úpravě P-01 (obr. 18) a nyní i nově vyráběný typ krátkého samopalu SCORPION EVO 3 A1 (obr. 19).

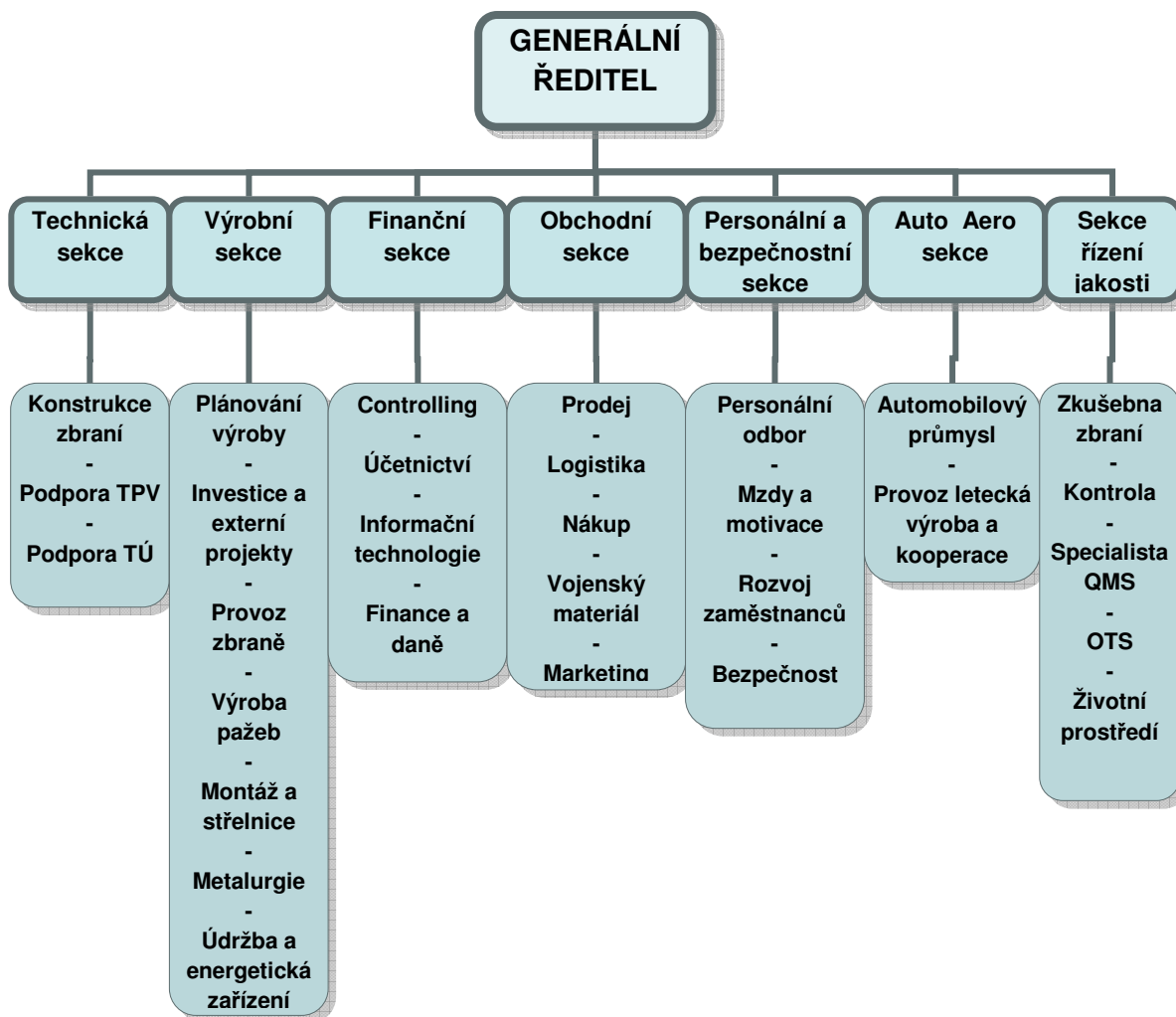


Obr. 18 CZ 75 D P-01 [10]



Obr. 19 SCORPION EVO 3 A1[10]

4.2 Organizační schéma podniku



Obr. 20 Organizační struktura podniku (autor)

Pracoviště, se kterým jsem spolupracoval na měření je v kompetenci oddělení údržby a energetických zařízení (obr. 20).

4.3 Vibrodiagnostický systém v CZUB v minulosti a současnosti

Diagnostika vibrací se začala v CZUB provádět pomocí přístrojů Multiviber od firmy Lamikappa a FFT od Pruftechnik. Z počátku byly využívány pouze pro vyvažování, kvůli své náročnosti na obsluhu a vyhodnocování měření. Teprve do roku 2006 se začalo pravidelně měřit maximální hodnoty vibrací na vřetenech obráběcích center v pravidelných intervalech, jež se provádí dodnes. Na tyto měření se používá přístroj MicroVibe P CMVL 3850, od té doby se již několikrát potvrdil přínos tohoto systému na životnost strojů a pro celkovou predikci údržby. Souběžně s měřením vibrací se provádí i sledování teploty motorů (termografie).

4.4 Diagnostikované zařízení

Výběr sledovaných strojů byl proveden na základě požadavků plynulosti výroby bez časových a ekonomických ztrát. Je nutné, aby samotné měření nezpůsobovalo narušení výrobního programu. Dalším kritériem výběru je klíčová důležitost zařízení pro výrobní proces, zařízení která jsou nenahraditelná, jednoúčelová či vyrábí důležité součásti. Dále byl kladen důraz na výkonnost, pořizovací hodnotu, vytíženost, stáří, poruchovost a další vlivy

Pomocí těchto kritérií byly vybrány následující zařízení, převážně obráběcí centra:

CMV 4H, MC 510, MC 512, STAMA 330 TWIN, KRYLE, STENZEL, INDEX, CMS 1, CMS 2, SHK- 10

GearSpect 166, GearSpect 205, MCFV 1060, Hermle Chiron FZ 12,

Chiron FZ 15, STAMA 331/S, STAMA 526/M

Z výše uvedených jsem se při svém měření zaměřil především na obráběcí centra *STAMA 526/M (obr. 21)*, a *CHIRON FZ 12 KS (obr. 22)*, která jsou využívána pro výrobu dílčích částí zbraní.

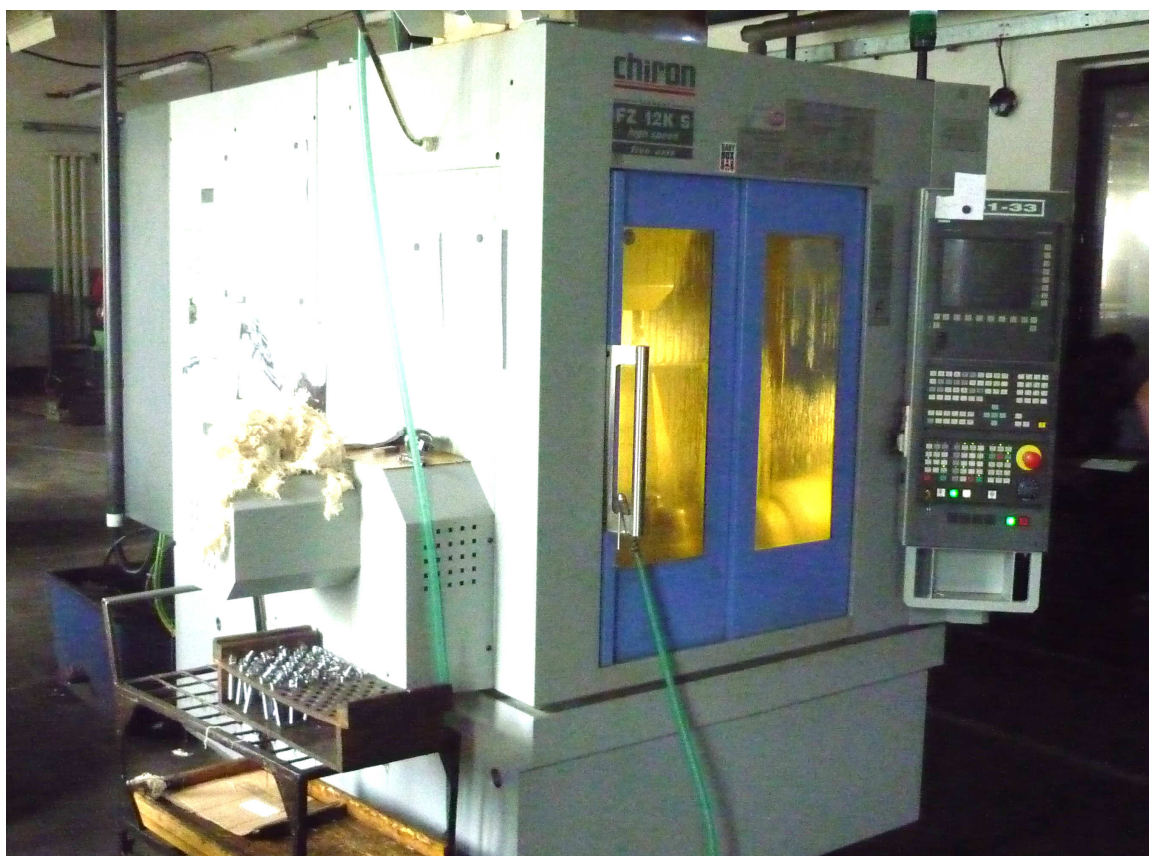
4.5 Charakteristika zařízení:

Všechny tři typy sledovaných zařízení mají podobnou koncepci umístění hlavních částí, proto je budeme posuzovat stejným způsobem, v případě zařízení od f. STAMA známe typ ložisek a jejich parametry. U zařízení CHIRON je typ ložisek neznámý, avšak již byl dán podnět pro oddělení údržby, aby při příští výměně staré ložisko uchovaly. Jak STAMA tak CHIRON mají koncepčně stejné umístění hlavního pohonu vřetene a to přímo nad vřetenem v ose vřetene, avšak liší se přenosem kroutícího momentu z motoru na vřeteno. Stroje STAMA mají spojení realizováno pomocí pružné spojky z měkčeného materiálu, které je šetrnější pro motor při rázech vznikajících při obrábění. Naopak u stroje CHIRON je přenos realizován „natvrdo“ pomocí drážkované hřídele, která zapadá tvarovým stykem přímo do vřetene.

Oba typy frézek slouží k třískovému obrábění polotovarů ve zbrojní produkci společnosti, typickým příkladem je hrubování rámu pistolí CZ 75 (obr. 24), závěrů kulovnic, či opracování polotovaru hlavní ručních palných zbraní pro další operace (obr. 23) a dalších částí zbraní. Je běžnou praxí že na jednom obrobku se aplikují různé druhy obrábění od hrubování až po finální frézování „načisto“



Obr. 21 STAMA MC 526/M , lokální označení 2/7 (autor)



Obr. 22 CHIRON FZ 12 S , lokální označení 1 (autor)



Obr. 23 polotovar hlavně (autor)



Obr. 24 odlitek rámu pistole po obrábění (autor)

4.6 Diagnostikovatelné části zařízení

Celé obráběcí centrum se skládá ze tří hlavních částí, u nichž lze praktikovat vibrační diagnostiku. Prakticky se jedná převážně o součásti s valivými ložisky.:

- Pohonná jednotka (motor)
- Převodové ústrojí
- Vřeteno s upínačem nástrojů

Vzhledem k množství sledovaných zařízení jsou pro vyhodnocování stavu sledována pouze vřetenová ložiska kterým se přikládá největší vliv na výslednou kvalitu výroby a také jsou hlavním ukazatelem případné poruchy zařízení.

4.7 Časový plán měření a způsob ukládání naměřených hodnot

Měření nemá ustanovený přesný rozvrh, jediný dokument, ze kterého můžeme vycházet je zpráva „Diagnostika strojů v CZUB“ zpracovaná ing. Ladislavem Trtkem z roku 2007. Ta uvádí interval sběru dat na strojích 1x ročně, v případě strojů CHIRON 2x ročně. Ostatní zařízení se kontrolují buď po upozornění obsluhy na neobvyklé chování, nebo až po poruše. Tento systém se průběžně zdokonaluje a v současnosti je již většina strojů diagnostikována subjektivně, tzn. že každé zařízení má jiný časový harmonogram měření upravený podle požadavků vlastní údržby, tento krok vede k dalším úsporám ve vytíženosti pracovníků údržby a v neposlední řadě také ke snížení prostojů kvůli měření. Při mém měření jsem si dal za úkol sledovat změny vibrací v intervalu přibližně jeden měsíc, aby se ukázalo, zda je možné sledovat změnu velikosti vibrací v takto krátké době oproti původnímu plánu (1x ročně).

Vlastní sběr dat probíhal následovně:

- nastavení parametrů zařízení dle požadavků měření
- nastavení měřicího přístroje
- umístění snímače na měřicí bod
- spuštění zařízení
- provedení měření a přibližné vyhodnocení „na místě“
- ruční zapsání dat do předem připravené tabulky (obr. 25)
- další zpracování hodnot pomocí výpočetní techniky

STAMA	MC 331/S	označení	r.v. hl.č. měřil:
--------------	-----------------	----------	-------------------------


Měření vibrací vřetene :

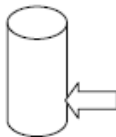
Podmínky měření:


Nástroj: s nástrojem n: 5000 ot/min⁻¹

Tolerance: $V \leq 1,75 \text{ mm/s}$

Pozn.:

	RMS	PEAK	CF	měření dne:
A [G]				
V [mm/s]				
D [μm]	-,---		-,---	
E3 [GE]				
Spodní část vřetene				

	RMS	PEAK	CF	měření dne:
A [G]				
V [mm/s]				
D [μm]	-,---		-,---	
E3 [GE]				
Spodní část vřetene				

	RMS	PEAK	CF	měření dne:
A [G]				
V [mm/s]				
D [μm]	-,---		-,---	
E3 [GE]				
Spodní část vřetene				

Přístroj: MicroVibe P CMVL 3850 , sonda: CMSS 3811

RMS – efektivní hodnoty , PEAK – špička , C.F. – činitel výkmitu

A – zrychlení , V – rychlost , D – výchylka , E3 – obálka zrychlení (500Hz – 10kHz)

Obr. 25 Protokol pro zápis hodnot vibrací vřeten (autor)

Poznámka k tabulce: Tento formulář je pro zápis naměřených hodnot ze stroje STAMA MC 331/S , koncepčně však vychází z formuláře pro zařízení CHIRON FZ12KS a STAMA MC 526/M. Tyto dva formuláře se liší pouze v přidání kolonky pro měření axiálního směru (měření v rovině osy vřetene)

4.8 Zařízení použitá pro vibrodiagnostiku

Hodnoty vibrací se v CZUB měří pomocí přístroje Microvibe P CMVL 3850 (obr. 28) od roku 2006 a od té doby se také zaznamenávají naměřené efektivní hodnoty (RMS). Jedná se o zařízení firmy SKF pro primárně určené pro „rychlou kontrolu“ založené na platformě (obr. 27) která se dá vsunout do CF slotu (type II) většiny kapesních PC. V našem případě je použit kapesní přístroj značky ASUS model MyPal A730 (obr. 26)



Obr. 26 Asus MyPal A730 [13]



Obr. 27 Modul Microvibe P (autor)



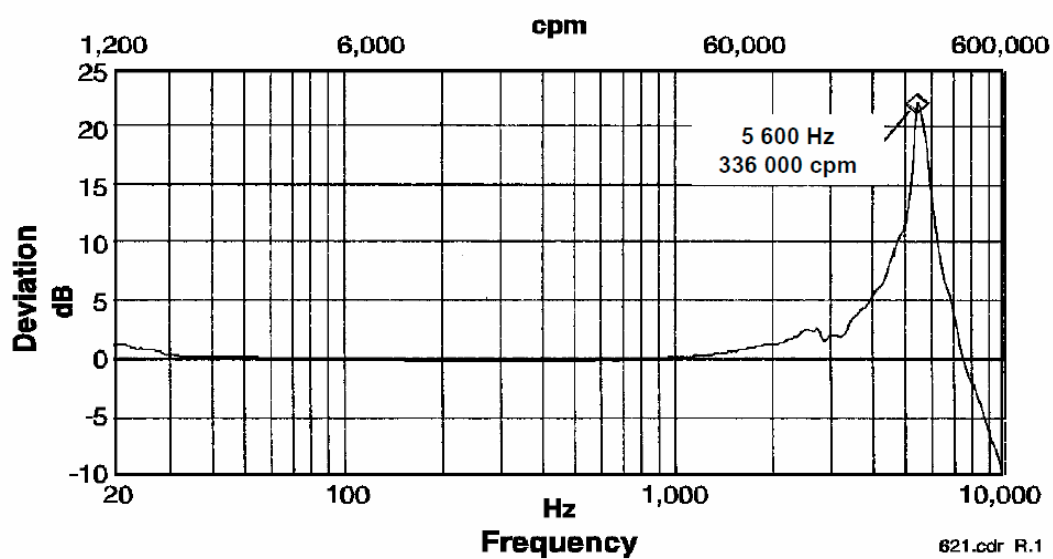
Obr. 28 Sestava pro měření včetně akcelerometru (autor)

Snímač vibrací je taktéž od firmy SKF a je dodáváno v sadě s přístrojem, tudíž je zajištěna kompatibilita, neboť vnitřní program Microvibe P je uspořádán základními hodnotami nastavení právě pro tento akcelerometr. Tímto přístrojem se měří pouze hodnoty RMS, které dále slouží k tendování a dokáže jednoduše zobrazit také frekvenční spektra, tato funkce však není používána.

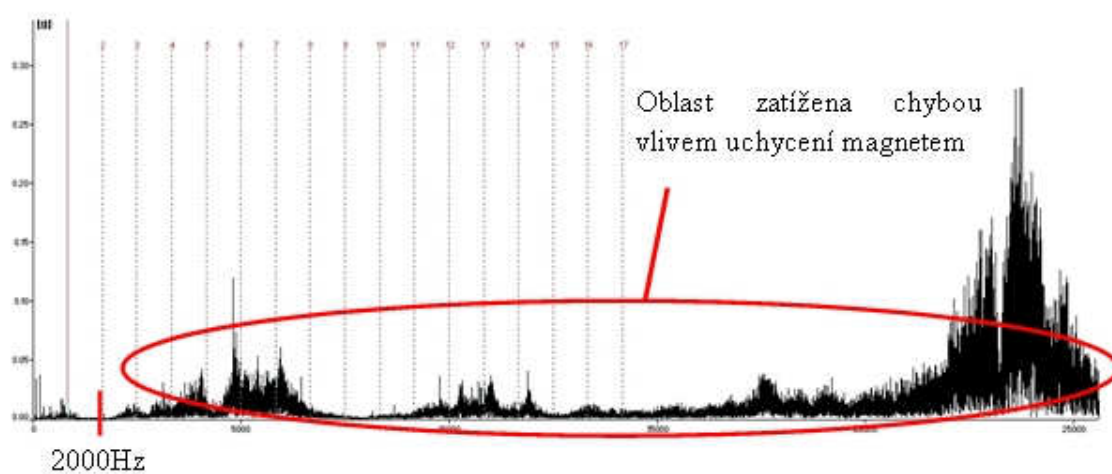
Dalším zařízením, které jsem použil při měření, byl školní přístroj ADASH VA4 (obr. 29), tímto přístrojem jsem především sledoval frekvenční spektra pro další vyhodnocení a pro kontrolu zařízení Microvibe P. Jedná se o prototyp zapůjčení firmou ADASH který už je na vyšší úrovni než Microvibe P. Uchycení snímače vibrací u obou zařízení je provedeno pomocí magnetu, tento způsob uchycení je doporučován pro hodnoty až do 1800Hz (obr. 30). Výhody tohoto uchycení jsou v jeho rychlosti, je však nutné dbát na správné umístění a ošetření povrchu (odmaštění, očištění od hrubých nečistot). Mezi nevýhody patří degradace použitelného pásma frekvencí a nemožnost měření vyšších frekvencí, na kterých se projevují prvotní poruchy ložisek. Příklad frekvenčního pásma ve kterém už uchycení magnetem vyvolává nepřesné měření vidíme na obr. 29 , vzhledem k této skutečnosti měříme pouze do 2000 Hz.



Obr. 29 ADASH VA4 (autor)



Obr. 30 Graf závislosti uchycení magnetem na přesnost měření [1]



Obr. 31 Frekvenční spektrum 1-25000Hz (ADASH DDS 2007)

4.9 Vibrační diagnostika vřetenových ložisek

Na hlavním vřetenu se nachází u obou typů CNC frézek po dvou ložiscích v dolní i horní části vřetene dle rozkresu (příloha A). V rámci úspory času a minimalizaci přerušení chodu stroje se v CZUB provádí měření pouze na spodní části vřetene, neboť zde by se případné zvýšení vibrací projevilo nejdříve. Měří se pouze radiální hodnoty v ose zařízení ve směrech zepředu (od pozice obsluhy) a z boku (obr. 32). Vertikální umístění se volí přibližně ve výšce 150mm od spodní roviny vřetena. Tento způsob se v praxi osvědčil a díky němu lze s jistou přesností určit dobu chodu do poruchy. Parametry stroje byly: 5000 ot/min, měřeno s nástrojem. Známe-li otáčky vřetene, můžeme pomocí vzorce (5) vypočítat otáčkovou frekvenci, na které se bude ve frekvenčních spektrech objevovat většina základních poruch, které jsme schopni diagnostikovat.

$$f = \frac{n}{60} \quad [Hz] \quad (5)$$
$$f = \frac{5000}{60} = \underline{\underline{83,4 \text{ Hz}}}$$

Obr. 32 Pozice měření (autor)

Vysvětlivky k obr 32:

1 - směr zepředu (od obsluhy)

2 - směr z boku



Další metodou kterou jsme využili při vyhodnocování frekvenčních spekter je výpočet poruchových frekvencí ložisek. V tabulce jsou vyznačeny hlavní poruchy částí ložiska a jejich frekvence při 5000 otáčkách. Ložisko FAG HSS7013 je nainstalováno ve vřetenech zařízení STAMA MC 526/M.

Tab. 3 Poruchové frekvence FAG HSS7013

Poruchové frekvence ložiska FAG HSS7013			
Název	Zkratka	Základní frekvence	Frekvence při 5000 1/min
Poškození vnitřního kroužku	BPFI	16.11 [Hz]	1342.45 [Hz]
Poškození vnějšího kroužku	BPFO	13.89 [Hz]	1157.45 [Hz]
Poškození valivých elementů	BSF	6.08 [Hz]	506.65 [Hz]
Poškození klece vnitřní	FTF-i	0.46 [Hz]	38.33 [Hz]
Poškození klece vnější	FTF-o	0.54 [Hz]	44,99 [Hz]

4.10 Vyhodnocování výsledků měření používané v CZUB

Pro svůj návrh vibrodiagnostického systému jsem musel nejprve zjistit, zda dosavadní systém funguje a vyhovuje nárokům provozu. Provedl jsem tedy 4 měření v intervalu přibližně jeden měsíc. V dosavadním systému měření a zpracování dat se provádí porovnávání naměřených dat s normou ČSN 10816-3, ta řadí námi měřené stroje do skupiny 2 - stroje o střední velikosti s výkonem od 15kW do 300kW a výškou hřídele $160\text{mm} \leq H \leq 315\text{mm}$ (viz tabulka). Zůstal jsem tedy u tohoto systému měření neboť se v praxi osvědčil.

<i>Třída uložení</i>	<i>Hranice pásma</i>	<i>Efektivní hodnota výchylky μm</i>	<i>Efektivní hodnota rychlosti mm/s</i>
TUHÉ	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
PRUŽNÉ	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1
Pásmo A - nové , přejímané stroje Pásmo B - neomezeně dlouhý provoz Pásmo C - neuspokojivé pro trvalý provoz Pásmo D - vibrace mohou vyvolat poškození			

Tabulka. 2 ČSN ISO 10816-3

Dalším ukazatelem stavu zařízení používaným v CZUB je trendování, tento systém nám přehledně ukazuje vývoj velikosti vibrací a dokážeme podle něj přibližně určit dobu po kterou je možno ještě zařízení udržovat v provozu a na kdy naplánovat opravu. Abychom měli konkrétnější představu o stavu stroje, zaznamenáváme pomocí přístroje ADASH VA4 také frekvenční spektra. Spektra zde uvedené jsou zabírána při měření ve směru „zepředu“ (od obsluhy), při měření jsem snímal spektra ze všech tří směrů (radiálně i axiálně), avšak při zpracování dat jsem došel k závěru že pro vyhodnocení postačí pouze spektra naměřená kolmo k vřetenu (radiálně).

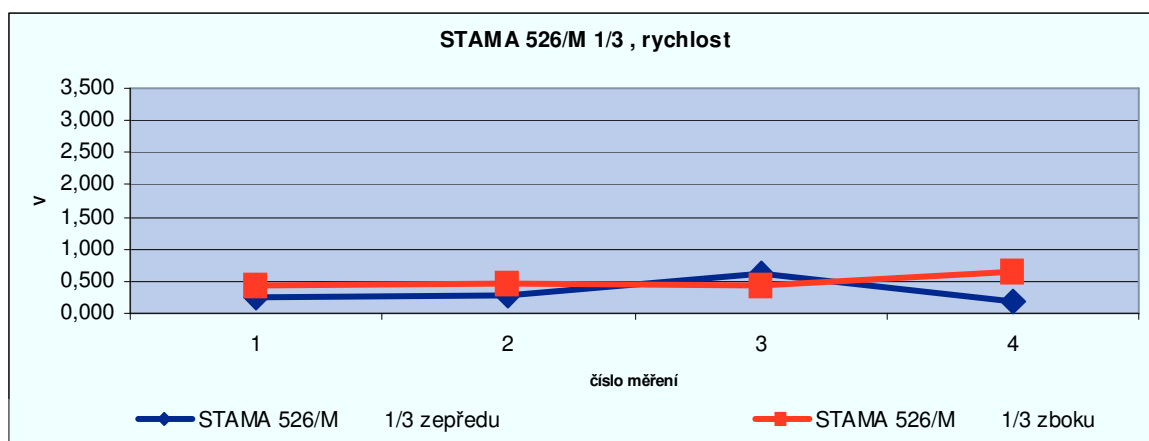
4.11 Naměřená data

STAMA MC 526/M ozn. 1/3

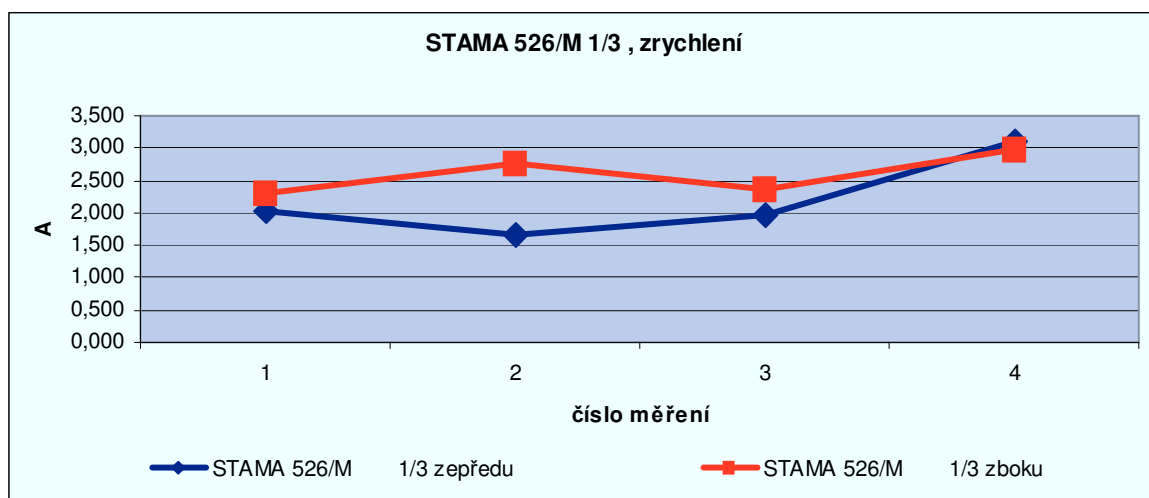
Hodnoty:

			Microvibe P				ADASH
			17. 12. 2010	14. 1. 2011	25. 2. 2011	15.4.2011	15.4. 2011
STAMA 526/M 1/3	V (mm/s)	zepředu	0,236	0,289	0,619	0,187	0,11
		zboku	0,420	0,472	0,448	0,657	0,63
STAMA 526/M 1/3	A (μm)	zepředu	2,031	1,667	1,961	3,116	
		zboku	2,301	2,763	2,349	2,982	

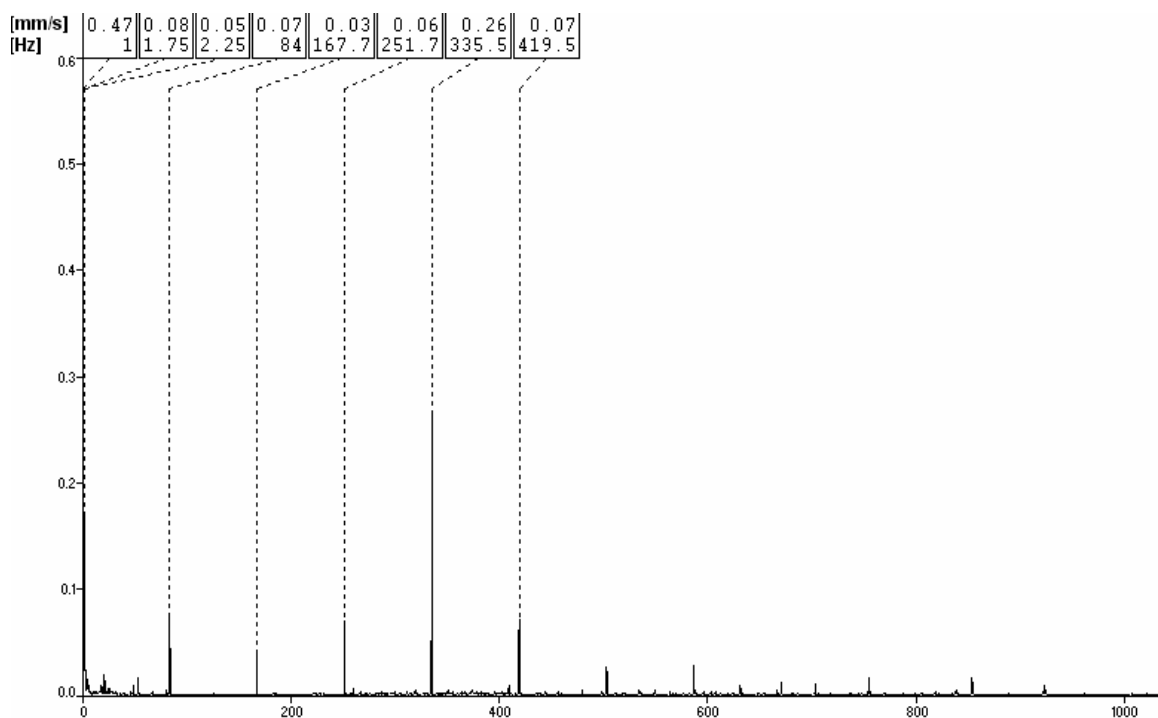
Tab. 3 Naměřené hodnoty STAMA MC 526/M ozn. 1/3



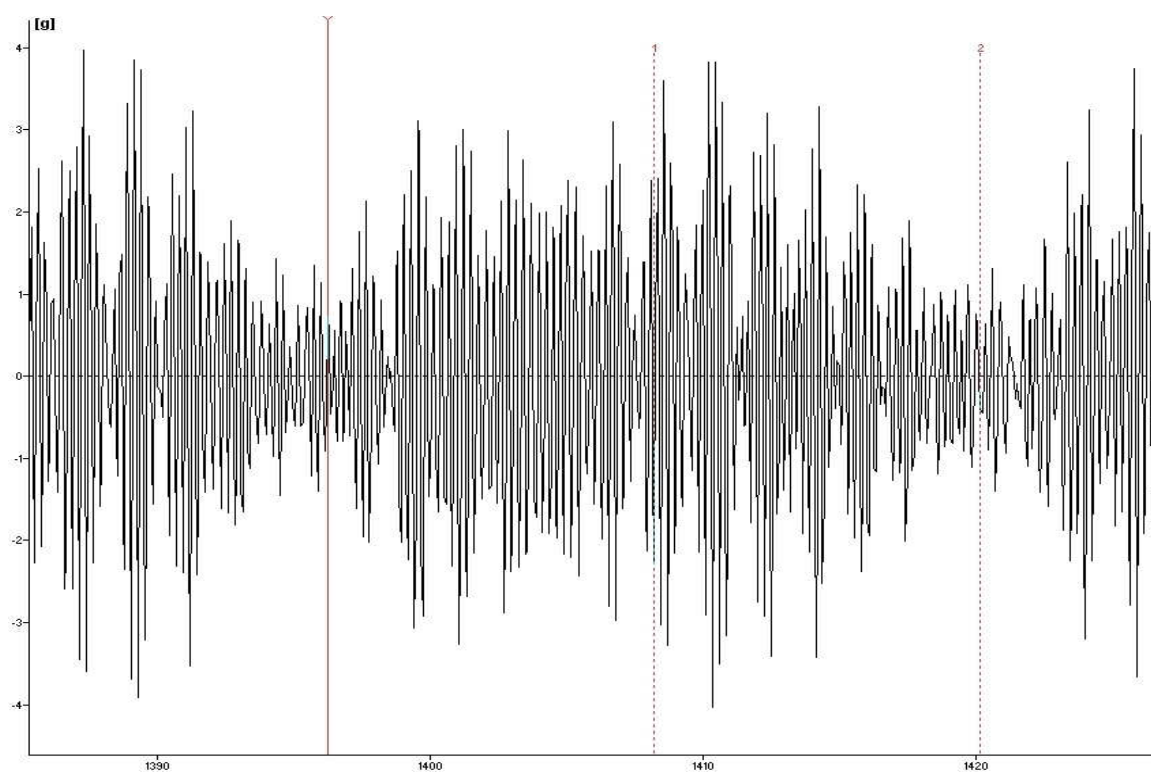
Obr. 33 Trendový graf rychlosti STAMA 526/M ozn. 1/3



Obr. 34 Trendový graf zrychlení STAMA 526/M ozn. 1/3



Obr. 35 Frekvenční spektrum STAMA 526/m ozn. 1/3 rozsah 1-1100 Hz



Obr. 36 Časové spektrum STAMA 526/m ozn. 1/3

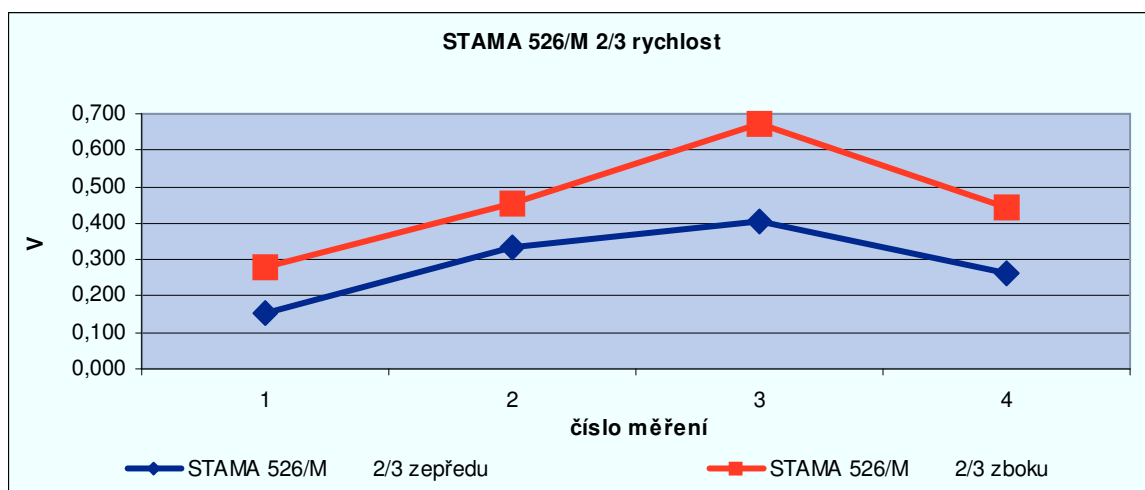
Z naměřených hodnot je vidět že stroj je v dobrém stavu, hodnoty podle ČSN vyhovují neomezeně dlouhému provozu. Zároveň můžeme porovnat naměřené hodnoty z přístroje Microvibe P a ADASH VA4, v tomto případě se příliš neliší.

STAMA MC 526/M ozn. 2/3

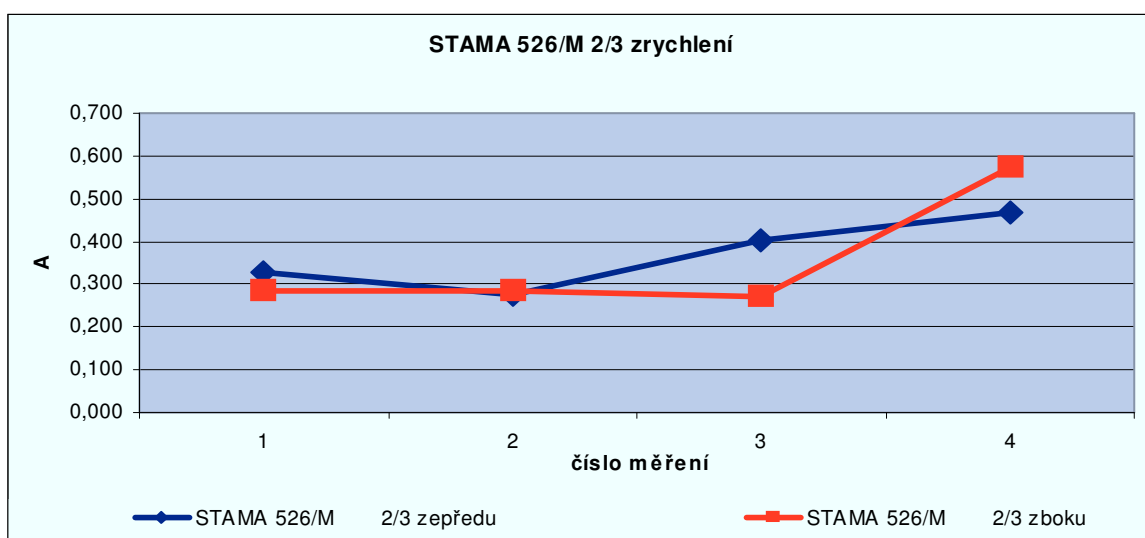
Hodnoty:

			Microvibe P				ADASH
			17. 12. 2010	14. 1. 2011	25. 2. 2011	15.4.2011	15.4. 2011
STAMA 526/M 2/3	V (mm/s)	zepředu	0,153	0,336	0,402	0,264	0,32
		zboku	0,280	0,452	0,675	0,441	0,37
STAMA 526/M 2/3	A (μm)	zepředu	0,328	0,275	0,402	0,469	
		zboku	0,284	0,286	0,270	0,574	

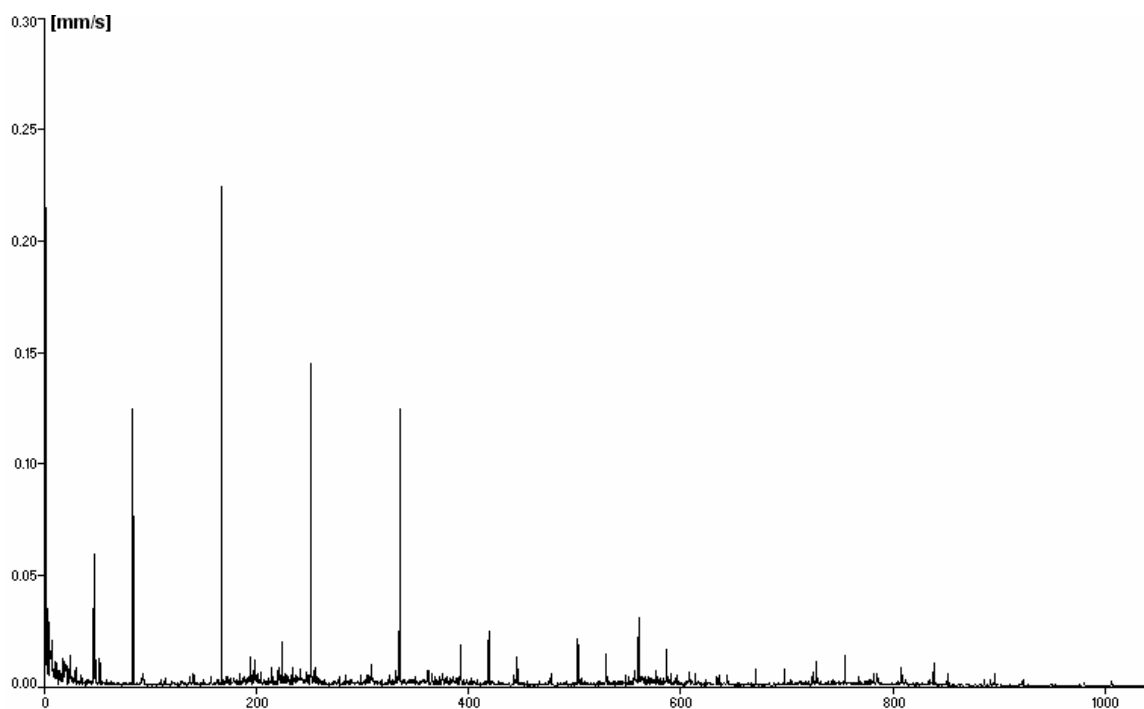
Tab. 4 Naměřené hodnoty STAMA MC 526/M ozn. 2/3



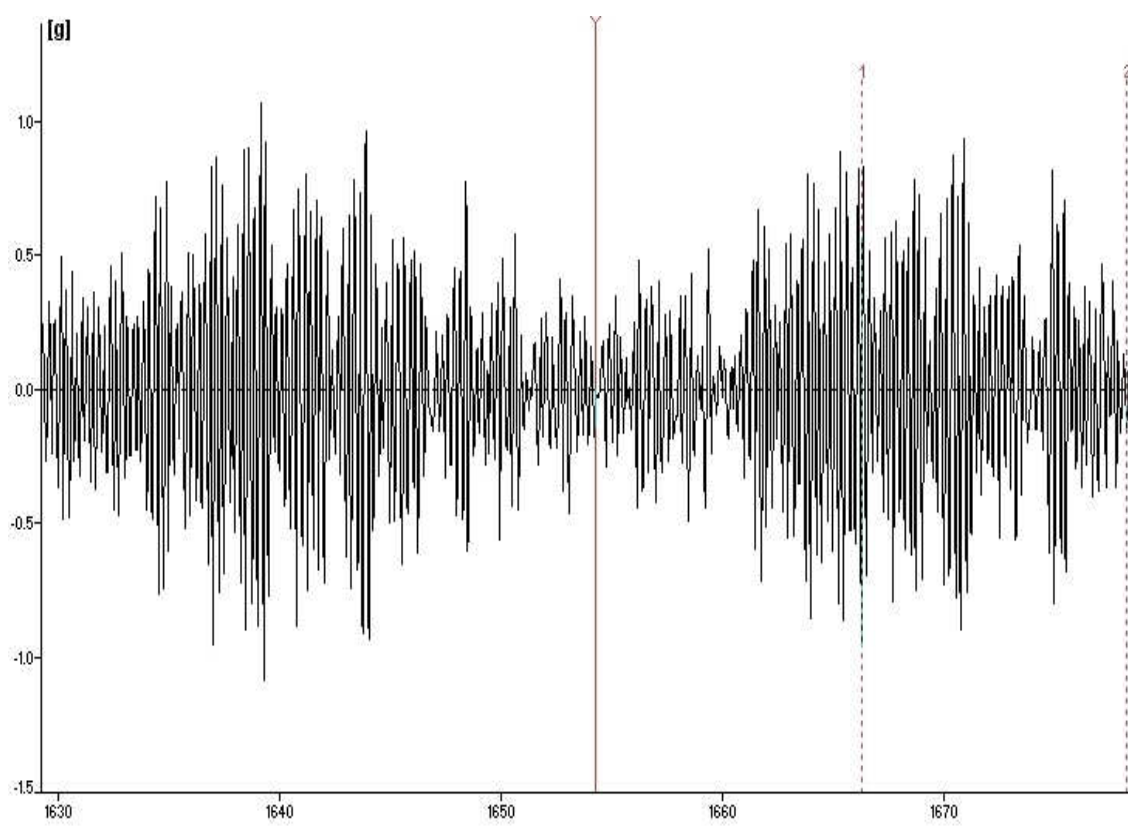
Obr. 37 Trendový graf rychlosti STAMA 526/M ozn. 2/3



Obr. 38 Trendový graf zrychlení STAMA 526/M ozn. 2/3



Obr. 39 Frekvenční spektrum STAMA 526/m ozn. 2/3 rozsah 1-1100 Hz



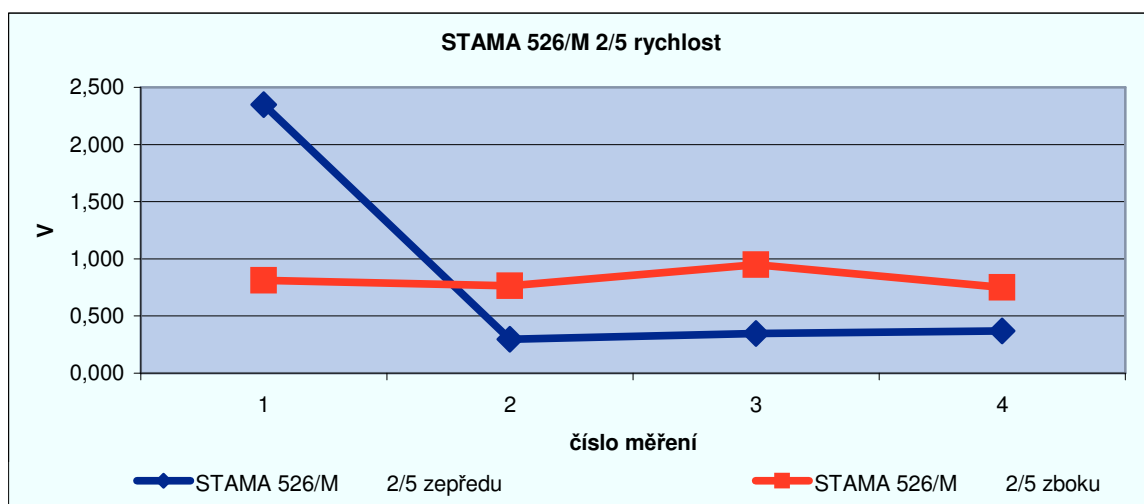
Obr. 40 Časové spektrum STAMA 526/m ozn. 2/3

Hodnoty vibrací jsou v pořádku, avšak analýza frekvenčního spektra ukazuje na paralelní nesouosost vřetene a hřídele pohonu. Dále jsou zde patrné zárodky nosných frekvencí a jejich postranních pásem. Spolu se zvýšeným šumem se může jednat o projev opotřebení ložisek či nedostatečného mazání.

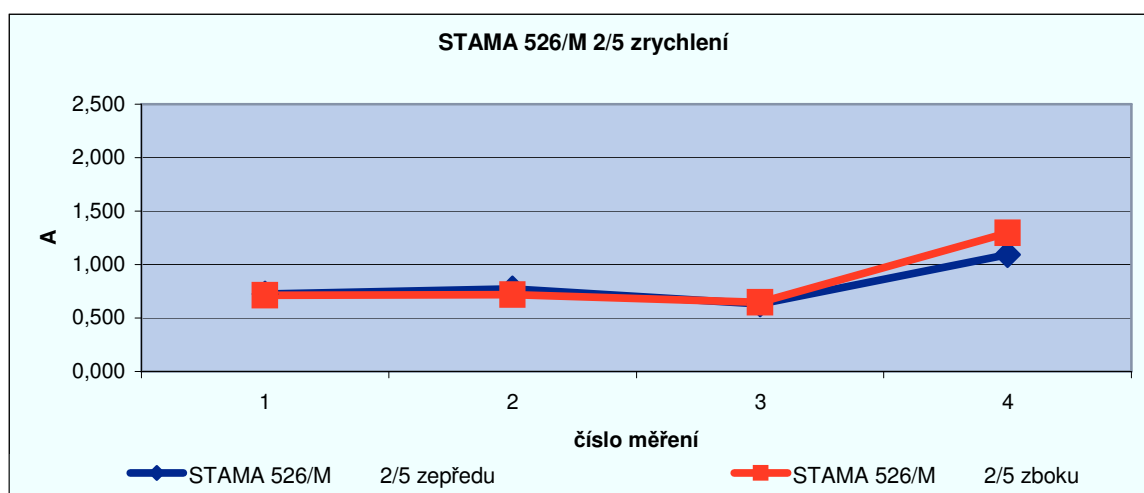
STAMA MC 526/M ozn. 2/5

Hodnoty:			Microvibe P				ADASH
			17. 12. 2010	14. 1. 2011	25. 2. 2011	15.4.2011	15.4. 2011
STAMA 526/M 2/5	V (mm/s)	zepředu	2,349	0,298	0,346	0,369	0,37
		zboku	0,812	0,765	0,949	0,750	0,77
STAMA 526/M 2/5	A (μm)	zepředu	0,726	0,773	0,632	1,092	
		zboku	0,712	0,720	0,648	1,295	

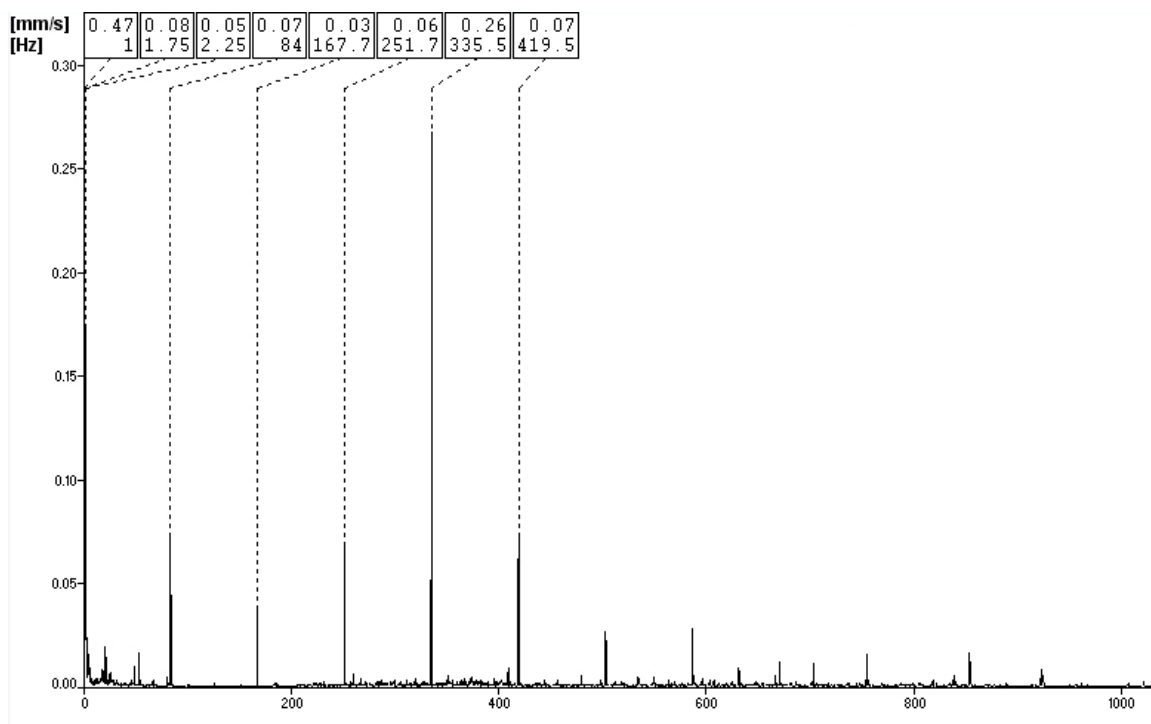
Tab. 5 Naměřené hodnoty STAMA MC 526/M ozn. 2/5



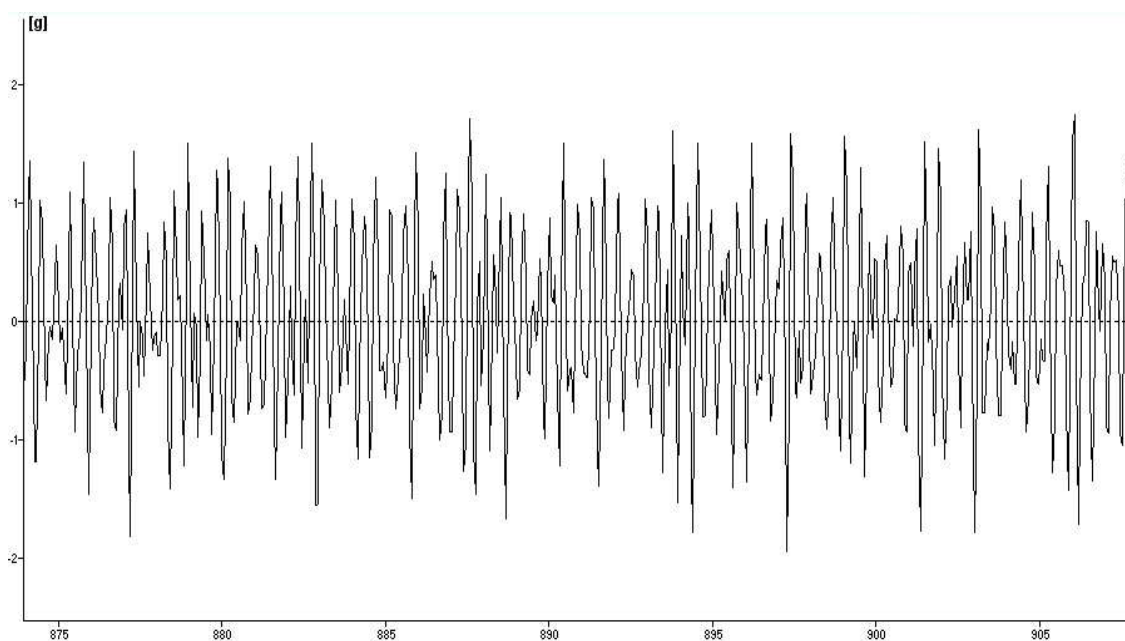
Obr. 41 Trendový graf rychlosti STAMA 526/M ozn. 2/5



Obr. 42 Trendový graf zrychlení STAMA 526/M ozn. 2/5



Obr. 43 Frekvenční spektrum STAMA 526/m ozn. 2/5 rozsah 1-1100 Hz



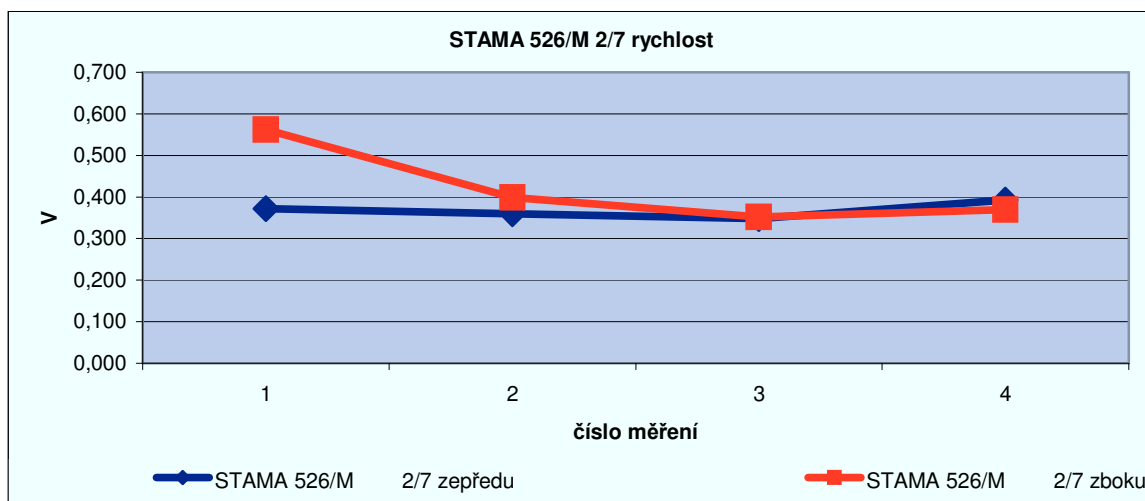
Obr. 44 Časové spektrum STAMA 526/m ozn. 2/5

Zvýšená hodnota u prvního měření byla pravděpodobně zaviněna špatným uchycením snímače. Jelikož se dále neprojevuje, můžeme ji zanedbat. V grafu zrychlení vidíme nárůst hodnot měřených z boku oproti hodnotám zepředu, to může být zaviněno špatným postupem při montáži ložiska, nebo špatným předepnutím. Výrazná hodnota vibrací na 4x otáčkové frekvenci ve frekvenčním spektru naznačuje problémy s vůlí ložisek, nebo mechanické uvolnění.

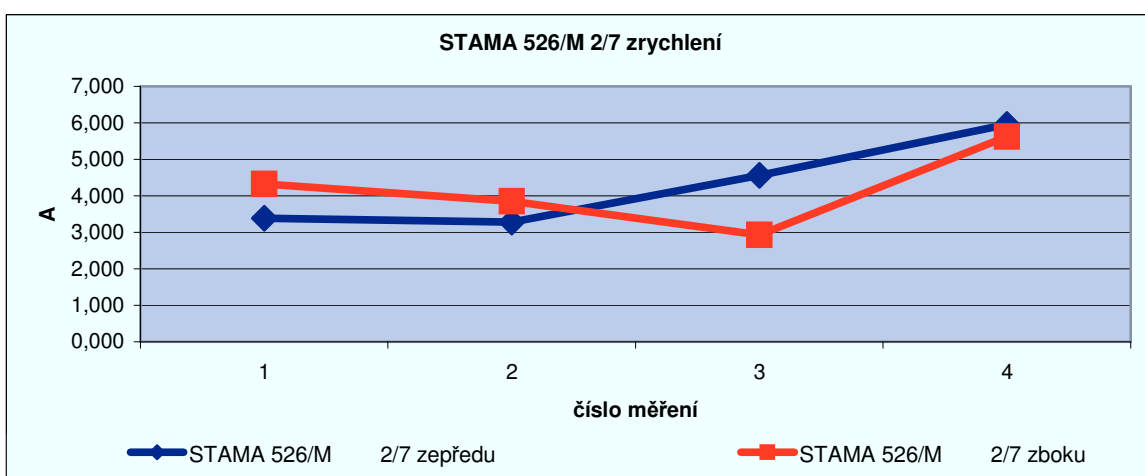
STAMA MC 526/M ozn. 2/7

Hodnoty:			Microvibe P				ADASH
			17. 12. 2010	14. 1. 2011	25. 2. 2011	15.4.2011	15.4. 2011
STAMA 526/M 2/7	V (mm/s)	zepředu	0,372	0,360	0,348	0,393	0,24
		zboku	0,562	0,399	0,352	0,370	0,27
STAMA 526/M 2/7	A (μm)	zepředu	3,387	3,277	4,564	5,959	
		zboku	4,327	3,848	2,932	5,620	

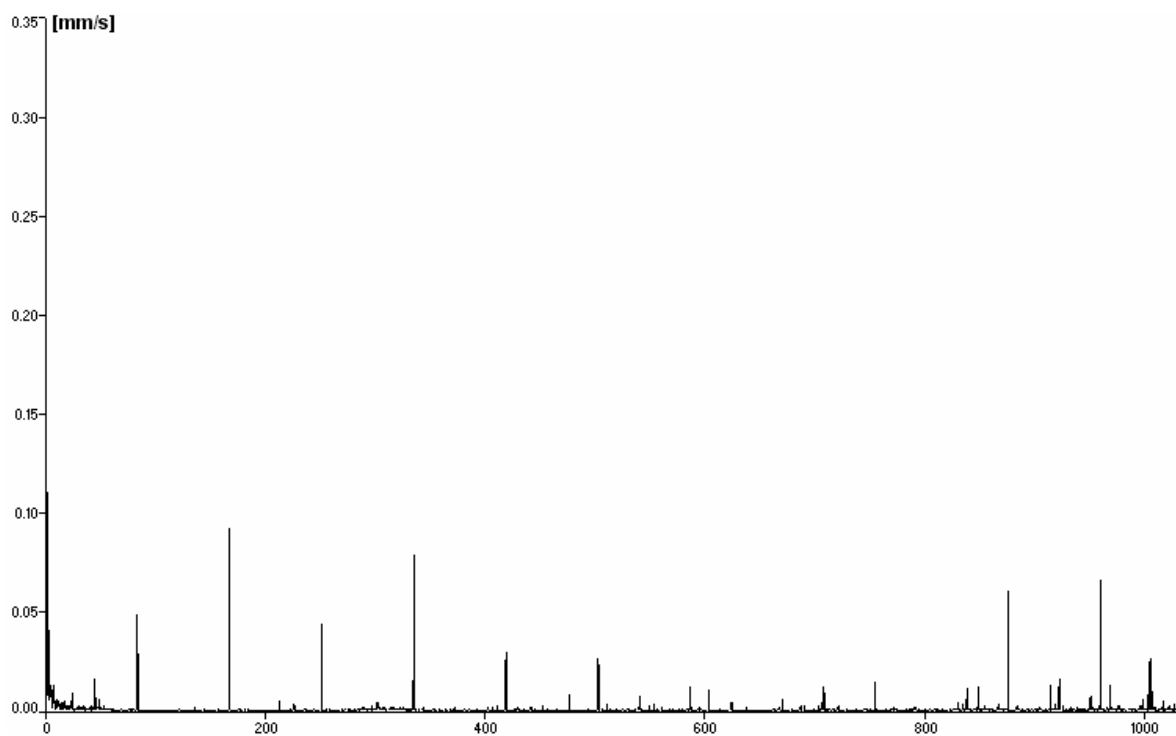
Tab. 6 Naměřené hodnoty STAMA MC 526/M ozn. 2/7



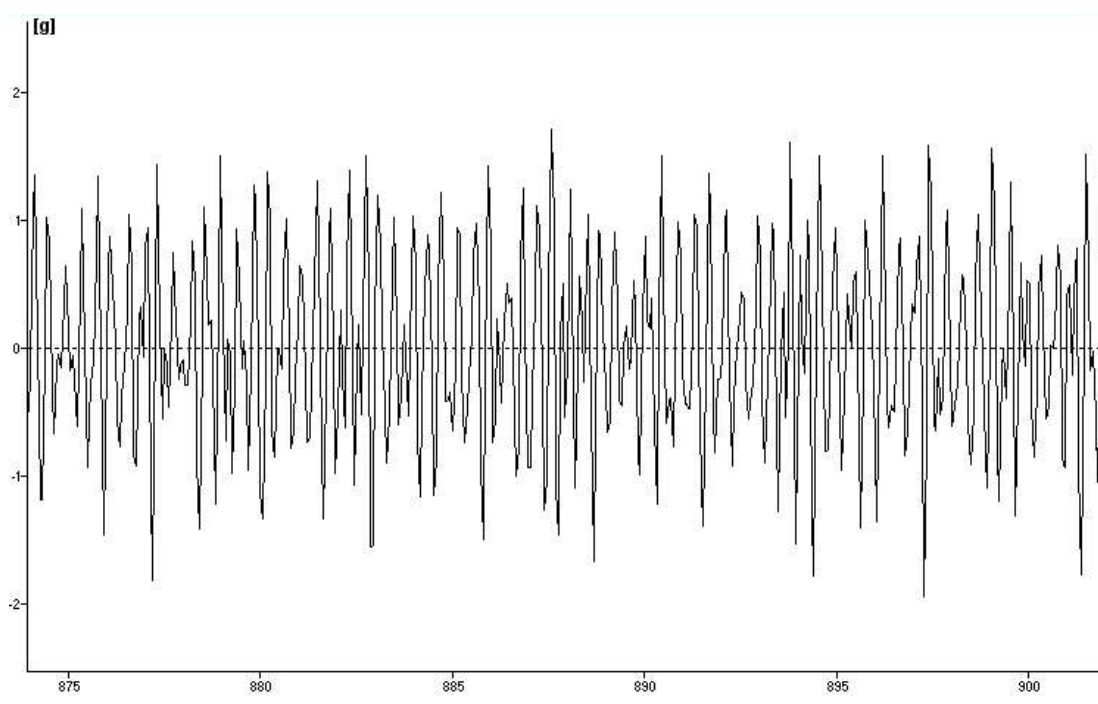
Obr. 45 Trendový graf rychlosti STAMA 526/M ozn. 2/7



Obr. 46 Trendový graf zrychlení STAMA 526/M ozn. 2/7



Obr. 47 Frekvenční spektrum STAMA 526/m ozn. 2/7 rozsah 1-1100 Hz



Obr. 48 Časové spektrum STAMA 526/m ozn. 2/7

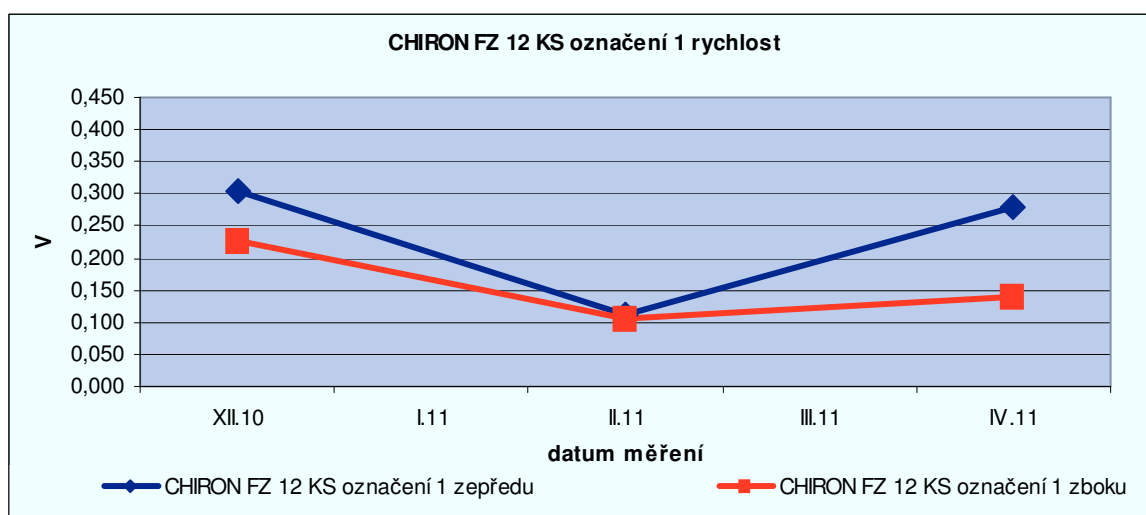
Jak vyplývá z trendových grafů (obr. 45, obr. 46) a z frekvenční analýzy, lze tento stroj označit za bezproblémový. Ve frekvenčním spektru se nenachází žádná větší výchylka. Největší spičky jsou na 1x otáčkové frekvenci a jejích násobcích, avšak jsou zanedbatelné.

CHIRON FZ 12 KS ozn. 1

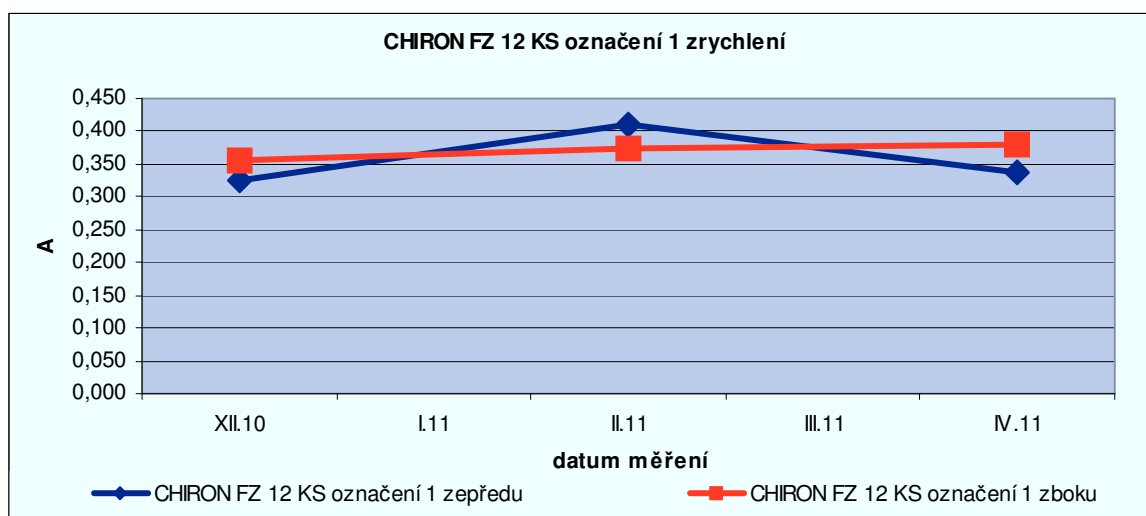
Hodnoty:

			Microvibe P				ADASH
			17. 12. 2010	14. 1. 2011	25. 2. 2011	15.4.2011	15.4. 2011
CHIRON FZ 12 KS označení 1	V (mm/s)	zepředu	0,305	porucha	0,112	0,280	0,27
		zboku	0,226	porucha	0,105	0,140	0,15
CHIRON FZ 12 KS označení 1	A (μm)	zepředu	0,326	porucha	0,410	0,337	
		zboku	0,355	porucha	0,373	0,380	

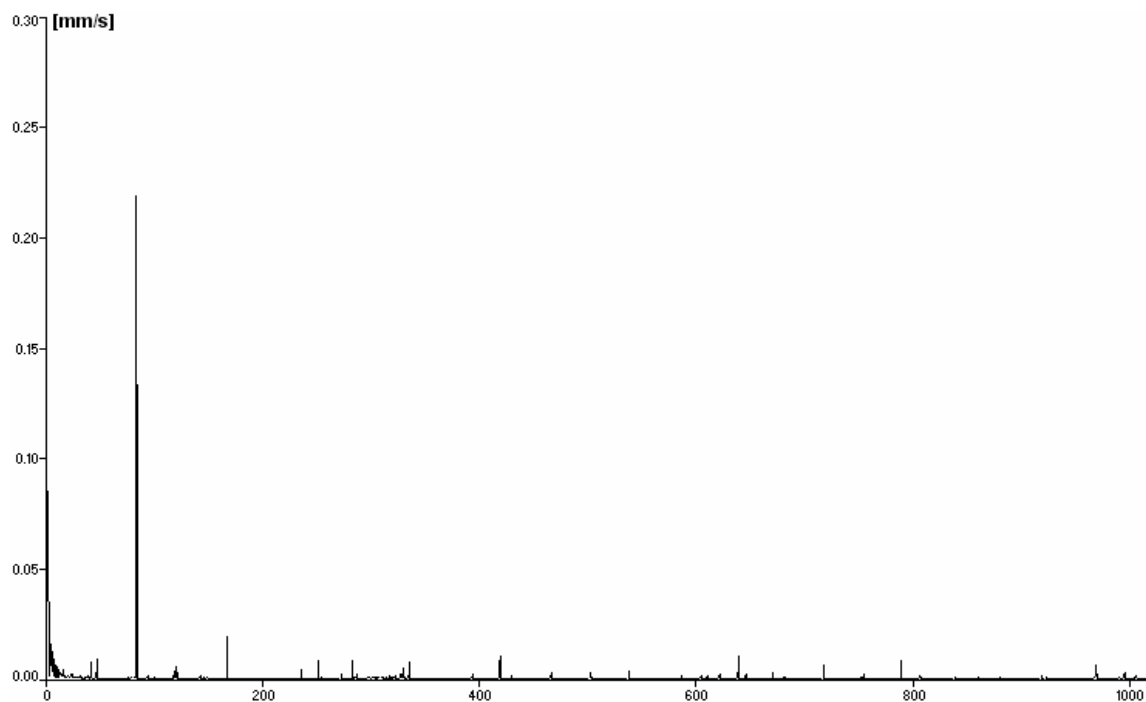
Tab. 7 Naměřené hodnoty CHIRON FZ 12 KS ozn. 1



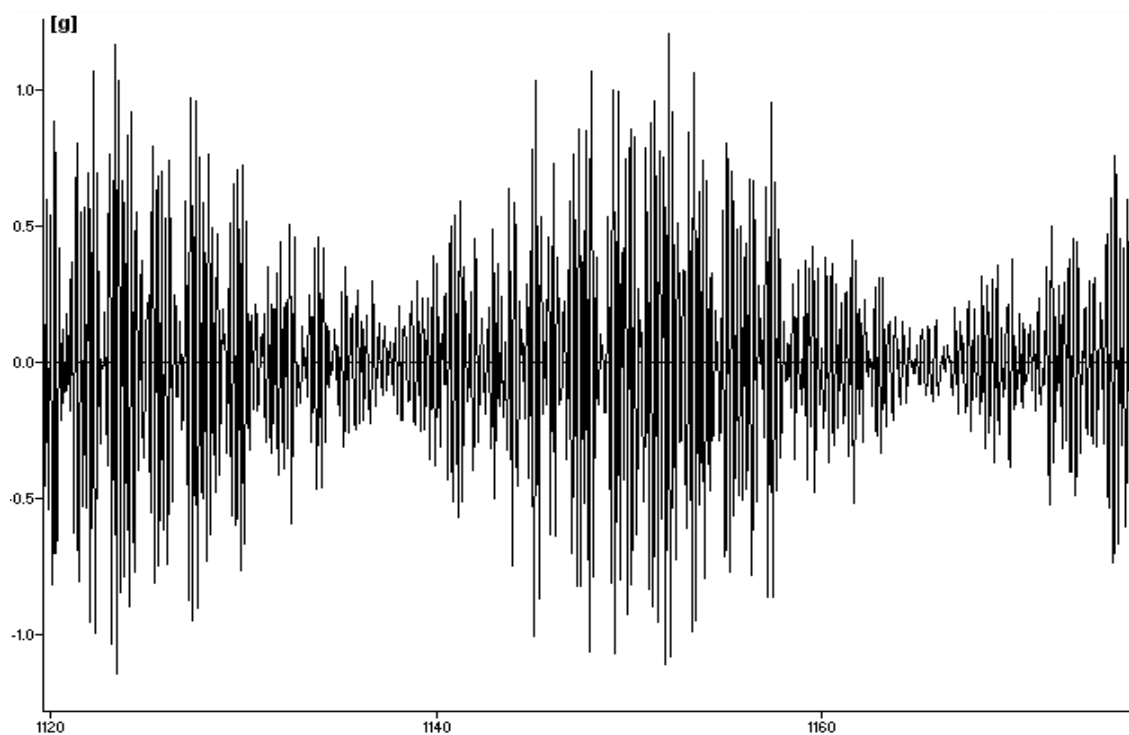
Obr. 49 Trendový graf rychlosti CHIRON FZ 12 KS ozn. 1



Obr. 50 Trendový graf zrychlení CHIRON FZ 12 KS ozn. 1



Obr. 51 Frekvenční spektrum CHIRON FZ 12 KS ozn. 1 rozsah 1-1100 Hz



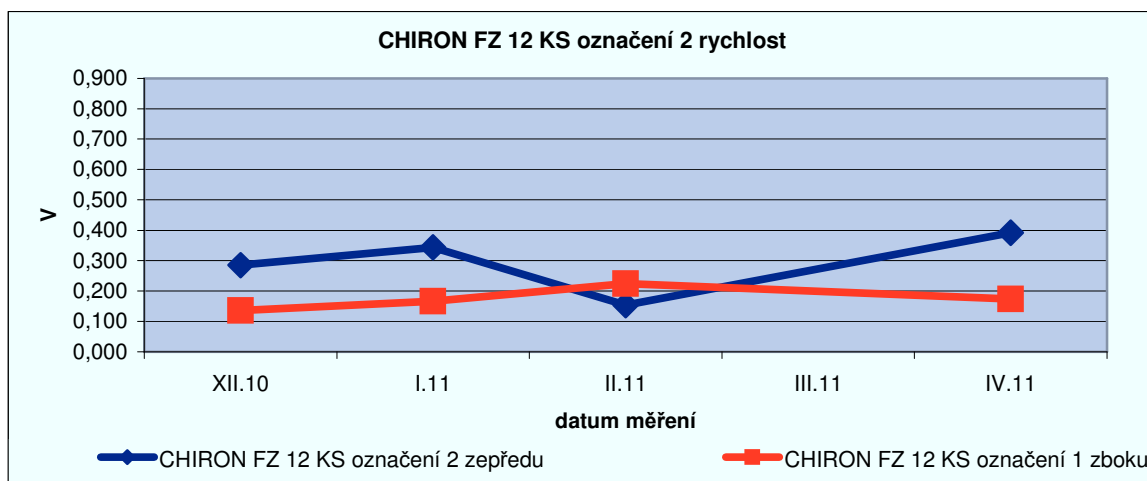
Obr. 52 Časové spektrum CHIRON FZ 12 KS ozn. 1

Zařízení CHIRON mají oproti STAMA výrazně lepší hodnoty, toto je způsobeno jiným druhem obrábění provozovaných na těchto strojích. Zaznamenaná porucha byla způsobena závadou v systému řízení chladicí kapaliny, nebyla způsobena závadou vřetene. Ve frekvenčním (obr. 51) spektru je výrazný nárůst vibrací na 1x otáčkové frekvenci, to může ukazovat na nevývahu.

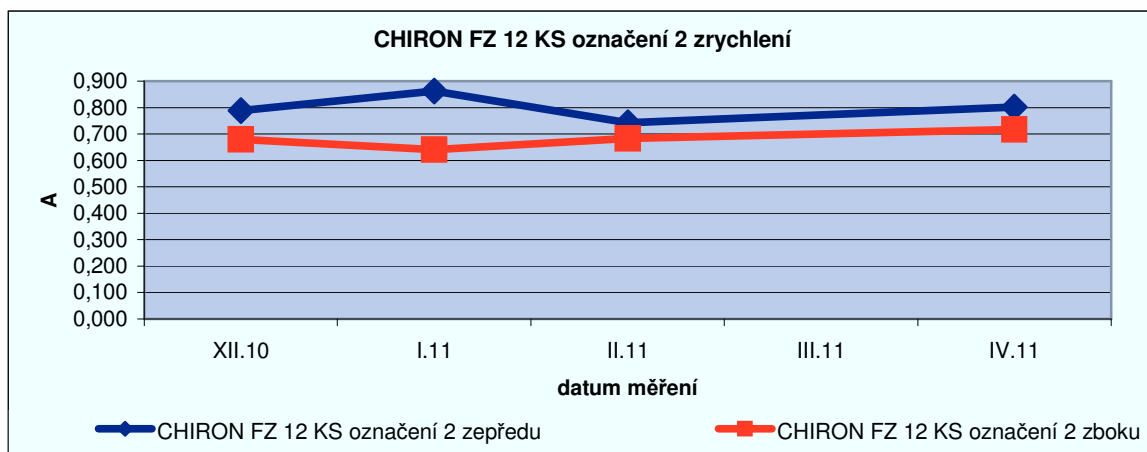
CHIRON FZ 12 KS ozn. 2

Hodnoty:			Microvibe P				ADASH
			17. 12. 2010	14. 1. 2011	25. 2. 2011	15.4.2011	15.4. 2011
CHIRON FZ 12 KS označení 2	V (mm/s)	zepředu	0,285	0,344	0,154	0,392	0,34
		zboku	0,136	0,166	0,224	0,174	0,15
CHIRON FZ 12 KS označení 2	A (μm)	zepředu	0,789	0,862	0,742	0,802	
		zboku	0,680	0,641	0,683	0,717	

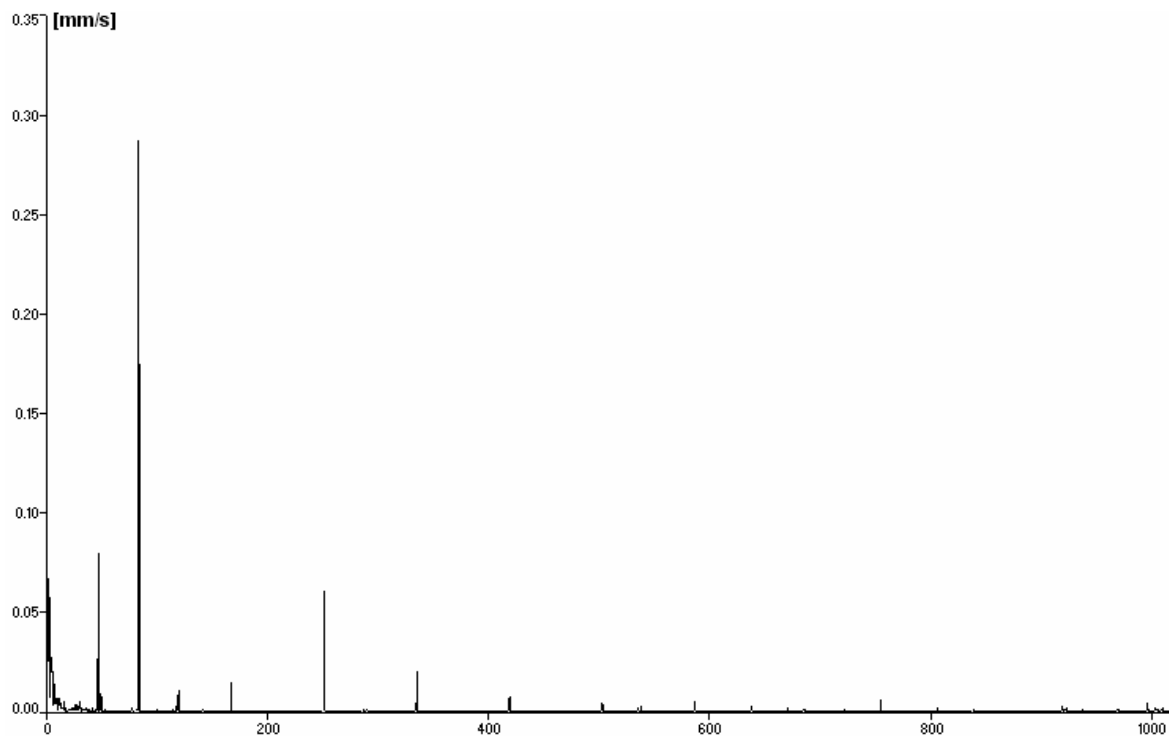
Tab. 7 Naměřené hodnoty CHIRON FZ 12 KS ozn. 2



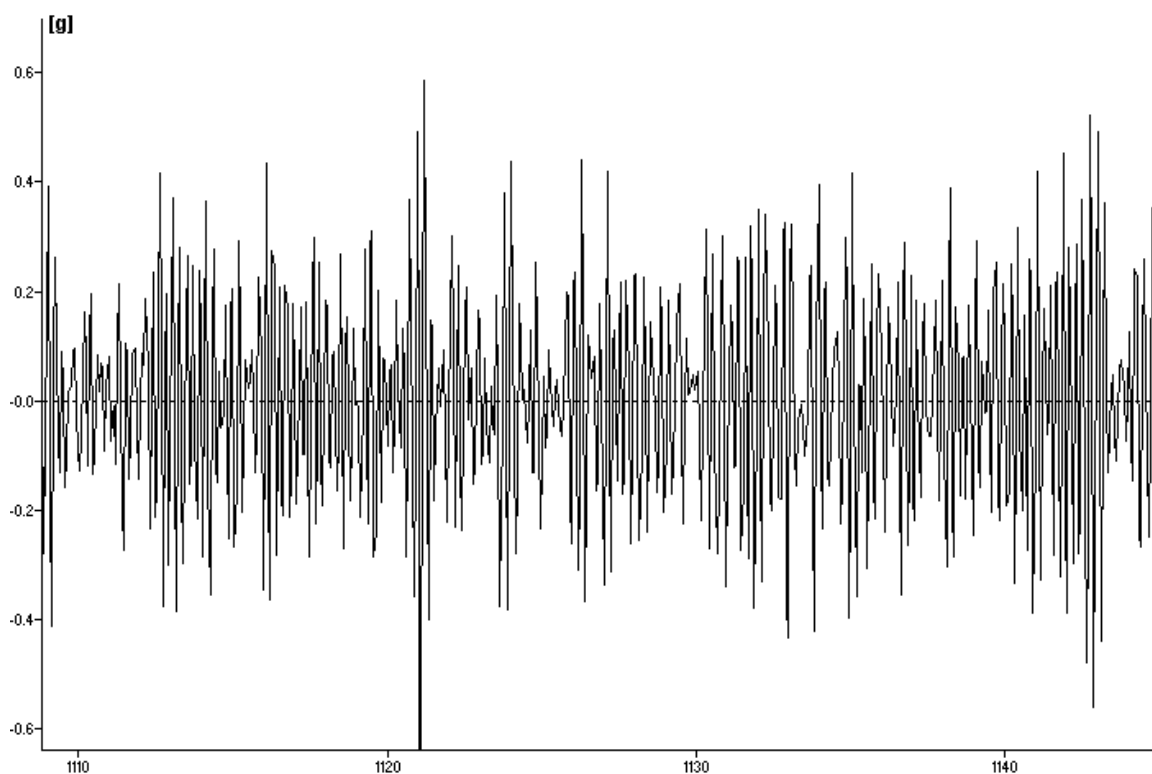
Obr. 53 Trendový graf rychlosti CHIRON FZ 12 KS ozn. 2



Obr. 54 Trendový graf zrychlení CHIRON FZ 12 KS ozn. 2



Obr. 55 Frekvenční spektrum CHIRON FZ 12 KS ozn. 2 rozsah 1-1100 Hz



Obr. 56 Časové spektrum CHIRON FZ 12 KS ozn. 1

Hodnoty rychlosti jsou v prvním pásmu hodnocení dle ČSN 10816-3 , což umožňuje provoz stroje po neomezeně dlouhou dobu. Hodnoty zrychlení jsou oproti rychlost zvýšené, ovšem dále se nezvyšují, což je také v pořádku. V časovém spektru se objevuje periodicky vysoká špičková hodnota, ta by mohla ukazovat na začínající poruchu ložiska.

5 Vyhodnocení dosavadního systému, porovnání a doporučení

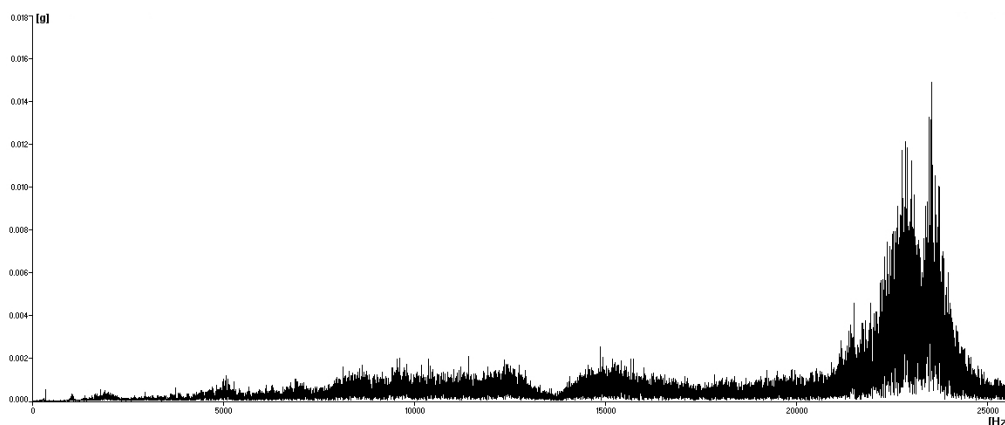
Při měření se prokázalo, že dosavadní systém používaný v CZUB je dostatečný, avšak nevyužívá plných výhod, které z jeho použití vyplývají. Jedná se především o zpracování, zapisování a ukládání měřených hodnot. Několikrát přepisování je zdlouhavé, kvůli spotřebovanému papíru neekologické a můžou se vyskytnout chyby při přepisování dat z papíru do počítače. Tuto nevýhodu by bylo možno odstranit zakoupením jiného měřicího přístroje.

Ten by měl splňovat tyto základní požadavky:

- možnost pochůzkového měření
- možnost nastavení přehledného ukládání dat
(př.: výrobní hala → měřené zařízení → jednotlivé měřené body → hodnoty)
- okamžité vyhodnocení na místě měření
- funkce trendování
- nastavení upozornění („semafor“)
- nastavení obálky zrychlení u každého sledovaného bodu
- softwarová podpora pro ukládání a zpracování naměřených dat
- jednoduchá a intuitivní obsluha, přehledné menu nastavení
- podpora měření SEE a vysokých frekvencí

Postup při sbírání dat na jednotlivých pracovištích je propracován díky zkušenostem obsluhy a údržby, tudíž bych nedoporučil nějaké výrazné změny, ty by mohly proběhnout jedině v případě že by se u některého zařízení prokázalo, že dosavadní systém je nevhodný, či zkresluje naměřená data.

Jediný výrazný problém se kterým jsme se při měření setkali bylo proudění vzduchu, který je při obrábění primárně určen pro chlazení nástroje. Samotný vzduch neměl na snímač vibrační výrazný vliv, avšak proudění ve vzduchovém potrubí a na výstupu z trysky mělo za následek zvýšení šumu a hodnoty vibrací ve frekvenční oblasti, ve které se projevují prvotní poruchy ložisek. To bylo prokázáno při testu, kdy jsme snímač umístili na vedení vzduchu a naměřili hodnoty vibrací viz obr. 57.



Obr. 57 Vysokofrekvenční vibrace vzduchu v potrubí

Dalším doporučením je zavést jednou ročně, nejlépe při výměně ložisek, kontrolu souososti hřídele motoru a vřetene. V téměř každém frekvenčním spektru se vyskytovaly známky nesouososti. Dále by bylo vhodné provést během výměny vřetene také vibrodiagnostiku samotného motoru bez připojeného vřetene. Díky přesnému spojení motoru s vřetenem se můžou projevovat poruchové vibrace motoru i při měření vibrací vřetene.

6 Závěr

V práci se zaměřuji na vibrodiagnostický systém u skupiny výrobních strojů ve společnosti CZUB. Během návštěv společnosti byly provedeny měření, které mají určit efektivitu dosavadního systému. Zároveň se hledají další možnosti jak dosavadní systém ještě zefektivnit. Během zpracovávání se již některé doporučení dostaly do praktického provozu (např. protokoly pro zadávání hodnot při měření). To ukazuje, že je stále co zdokonalovat a že spolehlivého a přesného systému dosáhneme jedině zaváděním moderních metod, které však musí doložit svoji užitnou hodnotu. Avšak pouze vibrodiagnostika není schopna zajistit stoprocentní chod stroje, je třeba zapojit do systému i další diagnostické metody, např. tribologii či termografii. Pouze úzkou spoluprací mezi výše zmíněnými lze dosáhnout systému diagnostiky, který lze označit za totálně produktivní.

7 Seznam použité literatury

- [1] KREIDL, Marcel, a kol. *Diagnosticke systémy*. Praha : Vydavatelství ČVUT. 2001. 352 s. ISBN 80-01-02349-4.
- [2] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost IV. Provoz a údržba strojů*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6
- [3] KREIDL, M; ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. Praha : BEN- technická literatura Praha 2006. 406 str. ISBN 80- 7300- 158- 6
- [4] MAREK, Jiří ; UČEŇ, Oldřich. *CNC obráběcí stroje*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. 108 s. ISBN 978-80-248-2329-4.
- [5] HELEBRANT, František; ZIEGLER, Jiří.: *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 178 s ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.
- [6] *Měření veličin v mechanice tuhých a poddajných látek* [online]. Elektronický dokument, 2009, dostupný z WWW: <http://www.kvetakov.net/ueikmt/2-rocnik/Is/ISAME/>
- [7] Accelerometers [online]. Elektronický dokument. 2010, dostupný z WWW http://www.dataacquisition.us/industrial_electronics/input_devices_sensors_transducers_transmitters_measurement/Accelerometers.html
- [8] *Snímače vibrací* [online]. Elektronický dokument. 2009, dostupný z WWW http://www.337.vsb.cz/materialy/zaklady_experimentalni_mechaniky/EXPME_4.pdf
- [9] *Měření vibrací ve vibrodiagnostice*. [Online]. Elektronický dokument 2010. dostupný z WWW <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>
- [10] *Oficiální stránky CZUB*. [online]. 2011. dostupné z WWW www.czub.cz
- [11] *Oficiální stránky SKF ložiska a.s.*. [online]. 2011. dostupné z WWW www.skf.com

[12] *Diagnostika valivých ložisek* . [online]. Elektronický dokument 2010. dostupný z WWW http://www.adash.cz/doc/ApplicationNotes/diag_val_lozisek_man_cz.pdf

[13] *Oficiální stránky ASUS.* [online]. 2011 dostupné z WWW www.asus.com

8 Seznam příloh

- Příloha A - Výkres vřetene stroje CHIRON FZ 12KS
- Příloha B - Výkres vřetene stroje STAMA MC 526/M
- Příloha C - Protokol o kontrole MicroVibe P CMVL 3850